

WILEY

从亚里士多德的「地心说」到牛顿的「三大力学定律」的跃迁，是人类世界观的一次次脱胎换骨

世界观

WORLDVIEWS

AN INTRODUCTION TO THE HISTORY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE

2ND EDITION



现代人必须要懂的科学哲学和科学史

（原书第2版）

[美] **理查德·德威特**（RICHARD DEWITT）著

孙天 / 译



机械工业出版社
China Machine Press

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

世界观：现代人必须要懂的科学哲学和科学史（原书第2版）

Worldviews：An Introduction to the History and Philosophy of Science，2nd Edition

（美）理查德·德威特（Richard DeWitt） 著

孙天 译

ISBN：978-7-111-61210-0

本书纸版由机械工业出版社于2018年出版，电子版由华章分社（北京华章图文信息有限公司，北京奥维博世图书发行有限公司）在中华人民共和国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）制作与发行。

版权所有，侵权必究

客服热线：＋ 86-10-68995265

客服信箱：service@bbbvip.com

官方网址：www.hzmedia.com.cn

新浪微博 @华章数媒

微信公众号 华章电子书（微信号：hzebook）

目录

译者序
前言
第一部分　基础命题
第1章　世界观
第2章　真理
第3章　经验事实和哲学性/概念性事实
第4章　证实与不证实证据和推理
第5章　奎因-迪昂论点和对科学方法的意义
第6章　哲学插曲：归纳的问题和困惑
第7章　可证伪性
第8章　工具主义和现实主义
第二部分　从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变
第9章　亚里士多德世界观中的宇宙结构
第10章　托勒密《至大论》序言：地球是球形的、静止的，并且位于宇宙中心
第11章　天文学数据：经验事实
第12章　天文学数据：哲学性/概念性事实
第13章　托勒密体系
第14章　哥白尼体系
第15章　第谷体系
第16章　开普勒体系
第17章　伽利略和通过望远镜得到的证据
第18章　亚里士多德世界观所面临问题的总结
第19章　新科学发展过程中的哲学性/概念性关联
第20章　新科学和牛顿世界观概述
第21章　哲学插曲：什么是科学定律
第22章　1700～1900年牛顿世界观的发展
第三部分　科学及世界观的新近发展
第23章　狭义相对论
第24章　广义相对论
第25章　量子理论的经验事实、数学方法和诠释概述
第26章　量子理论与定域性：EPR、贝尔定理和阿斯派克特实验
第27章　演化论概述
第28章　演化的哲学与概念影响
第29章　世界观：总结思考
章节注释和推荐阅读书目
参考文献

译者序

这是一本关于科学史和科学哲学的书，是一本给初学者看的书，而我正是这样一个初学者，因此，翻译这本书，就像是推开了一扇大门，走进一个不全然陌生但又不甚了解的世界。不过，幸好，在这个世界里，有作者理查德·德威特教授这个领路人。

在前言中，德威特教授介绍了本书的结构：正文共29章，分为三个部分，每个部分各有侧重。然而，从一个初识科学史和科学哲学的读者的角度来看，这本书其实可以分为两个部分，一个部分是科学哲学，就是书中的第一部分，而另一个部分就是科学史，也就是书中的第二部分和第三部分。在科学哲学的部分中，德威特教授介绍了诸多科学领域的基本命题，包括科学领域的基本概念、进行科学研究的逻辑和方法，以及对待科学研究及成果的态度，这些就像是一个理论框架，为后面打造一栋科学史的大楼打下了坚实的基础。而在科学史的部分中，德威特教授从公元前300年的亚里士多德时代写起，绵延至今，几乎涵盖了人类全部科学发展的历程，对每一个历史阶段的核心科学发展都进行了描述，并在描述的过程中反复运用在科学哲学部分中建立的理论框架进行分析，进而引发对于应如何对待科学的思考。

不得不说，这是一本有难度的书，从人类历史早期出于对天空的崇拜而产生的天文学研究入手，随着人类历史的铺开，扩展到物理学、生物学，其间穿插对化学、电磁学等领域的讨论，最后落脚到大约始于20世纪初期但到目前为止仍属前沿的领域，包括相对论、量子理论以及以演化论为基础的宗教和伦理学研究。不仅如此，在这些领域中，很多理论和主张并不是一目了然、简单易懂的，这无疑更增加了本书的难度。

然而，这又是一本不那么困难的书，德威特教授的论述深入浅出，通过大量运用实例、比喻、类比等，把许多抽象难懂的科学知识转化成了贴近日常生活经历的体会，在体会中理解科学的原理。同时，德威特教授口语化的论述语言诙谐轻松，仿佛他就站在面前，主持一场关于科学史和科学哲学的大型讲座。

这还是一本会让人在心里不断打上惊叹号的书，书中的许多观点颠覆了大多数人从小到大一直想当然的认知，令人倍感吃惊。比如，对于牛顿提出的重力概念，牛顿本人采用的居然是工具主义态度，这意味着牛顿力学中的重力并不是这个世界的一个真实存在，意味着牛顿力学的重力只是为了便于认识这个世界而采用的一个工具，而这无疑是中学物理课本从来都不曾提到过的。

这也是一本会让人不由得感叹“哦，原来如此”的书，在论述每个历史时期的核心科学发展的过程中，德威特教授使用了大量详细具体且很有说服力的科学知识来丰富自己的论述，其中不少都让人有恍然大悟的感觉。比如，众所周知，西方封建时期有“天赋王权”的思想，然而，这

种思想在当时原来也是有科学依据的，因为当时占统治地位的亚里士多德世界观认为每个物体在宇宙中都有其天然位置，那些成为国王的人，其天然位置就是国王，所以注定成为国王。有了这样的科学依据，难怪这种思想会在一段时期内根深蒂固。

总之，这是一本值得一读的书。不过，翻译这本书的过程却并不轻松，在这里要感谢华章公司的贾萌编辑，在本书的翻译、编辑过程中，她给予了我诸多督促和帮助，还要感谢我的父母孙社生、施鲁杰，以及我的先生史祎，他们作为初稿的读者，给我提出了许多宝贵建议，而且在翻译成书的整个过程中，他们的支持是对我最大的鼓励。

最后，希望我所做出的努力可以让现在拿着书，准备推开科学史和科学哲学世界大门的你接下来收获一段愉悦而有意义的旅程。

孙天

前言

本书主要是为第一次接触科学史和科学哲学的读者所准备的。如果这个描述与你相符合，那么欢迎来到这个迷人的领域进行探索。这个领域涉及某些最深奥、最困难同时又最基础的问题。也可以说，这个“科学的透镜”更清晰地聚焦于这些原本并没有那么引人注目的问题。我希望你像我一样喜欢这个领域，而且特别希望可以引起你的兴趣，让你愿意以后再回过头来更深入地研究这些问题。

像这样的介绍性著作尤其具有挑战性。一方面，我想准确地展示历史、哲学和两者之间的内在联系；另一方面，我想避免让某些第一次接触这一话题的人接触太多细枝末节。像我们这样对科学史和科学哲学进行全职研究的人，大多数来自学术领域，通常都会陷入自身学科的细节中，经常会忘记这样的细节在刚接触这一领域的人看来会是什么样子的。在面对细枝末节的时候，初学者常常会觉得“为什么会有人关心这些东西”，然后就放弃了。

这个问题可以理解。细节是很重要的，但是它们的重要性只有放在一个更广阔的背景中才能体现。因此在这里，我正是希望展现出这样一个更广阔的背景。然而，尽管本书描绘了一个相当宏观的图景，就我本人的知识而言我所写的也都是准确的，但在过程中的确省略了很多细节。

历史、科学和哲学之间的联系永远都是复杂而迷人的。正如前面提到过的，我希望引起你的兴趣，让你想要更深入地研究这些命题，甚至开始欣赏其中的细节。最能让我感到欣慰的莫过于看完这本书后，你会去书店，或者打开电脑里的浏览器，下单购买那些能让你进一步研究这些话题的书籍。

关于本书结构的说明

简略地说，我想要做的是：第一，介绍科学史和科学哲学中某些基础命题；第二，探讨从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变；第三，探讨新近出现的科学发展对西方世界观带来的挑战，这些发展中最值得注意的是相对论、量子理论和演化论。

为了实现这些目标，我将本书分为三个部分。第一部分是对科学史和科学哲学中某些基础命题的介绍。这些命题包括世界观的概念、科学方法和推理、真理、证据、经验事实和哲学性/概念性事实之间的对比、可证伪性以及工具主义和现实主义。这些命题的意义和相互之间的内在联系将在第二部分和第三部分中说明。

在第二部分中，我们将探讨从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变，并关注在这一变化过程中某些哲学性/概念性命题所扮演的角色。

其中特别值得关注的是，在亚里士多德世界观中处于核心地位的某些哲学性/概念性“事实”所发挥的作用。这些讨论将说明第一部分中的很多命题，同时，对第三部分中关于我们自己由于新近科学发展而不得不摒弃的某些哲学性/概念性“事实”的探讨，第二部分中的讨论也可以打下基础。

第三部分介绍了新近的发现和发展，其中最值得注意的是相对论、量子理论和演化论。随着对这些发现和发展的探讨，我们将会看到，它们令西方世界几乎所有人从小到大所接受的某些核心观点产生了重大改变。在第二部分中，我们已经强调了亚里士多德世界观中哲学性/概念性观点所扮演的角色，同时在第三部分中我们也会看到，某些观点曾一直被我们认为是显而易见的经验事实，然而随着新近的发现和发展，它们都被证明是错误的哲学性/概念性“事实”。

此时，已经很清楚的是，当对这些错误的哲学性/概念性观点的认知变得更为普遍时，我们看待这个世界的整体观点就需要发生变化了。目前很难说这些变化会是什么样子的，然而，越来越有可能的是，我们的孙辈继承的世界观将会与我们自己的世界观大为不同。我希望你所享受的探讨和思考并不仅局限于过去已发生的变化，还包括目前我们自己身处其中的变化。

在本书的最后，也就是章节注释和推荐阅读书目部分，我针对某些书中讨论过的话题提供了更多信息，同时列举了一些推荐书籍，在这些书籍中你可以找到更多关于这些话题的额外信息。正如前面提到过的，最能让我感到欣慰的莫过于看完本书后，你有兴趣对这些命题进行进一步探究。

关于本书的结构，还有最后一点说明：尽管我希望你能完整地读完这本书，而且书中的三个部分以前面所描述的方式相互联系在一起，但如果你想单独阅读每一部分，也是完全可以的。举个例子，如果你对17世纪的科学革命和牛顿科学及牛顿世界观的发展更感兴趣，而对科学哲学里的相关命题没那么感兴趣，那么你基本上可以从第二部分的开头，也就是第9章开始阅读。然而，我还是会鼓励你至少快速浏览一下第1章、第3章、第4章和第8章。同样地，如果你主要的兴趣点在于新近的科学发展，特别是相对论、量子理论和演化论，那么可以直接跳到第23章，也就是第三部分的开头。如果你打算这样做，那么我还是鼓励你至少快速浏览一下第3章和第8章。

最后，再次希望你能享受接下来的探讨。

第一部分　基础命题

在第一部分中，我们将探讨在科学史和科学哲学中某些重要而又基础的命题。具体来说，我们将讨论几个概念，包括世界观、真理、证据、经验事实与哲学性/概念性事实、常见的推理类型、可证伪性以及工具主义和现实主义。这些话题将为我们在第二部分和第三部分中的讨论提供必要的背景知识。在第二部分中，我们将研究从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变，而在第三部分中，我们将探讨一些对我们现有世界观提出了挑战的新近科学发展。

第1章　世界观

本章的主要目的是介绍世界观 的概念。与我们在本书中将要探讨的大部分概念相同，世界观这个概念实际上比它给人的第一感觉要着实复杂得多。不过，我们将从对这个概念相对简单直接的描述开始。接下来，随着本书内容逐渐深入，我们会体味一下亚里士多德世界观和我们自己的世界观，此后我们将会更好地理解世界观这个概念所涉及的复杂性。

尽管在过去100多年里，“世界观”这个词已经被相当广泛地使用，但这个词并没有一个标准定义，因此，值得花一些时间来明确在本书中我将如何使用这个词。如果要给出一个最简短的描述，我会说“世界观”指的是一个观点体系，其中不同观点如同拼图的一块块拼板一样相互联结。也就是说，世界观并不仅仅是一些分离、独立、不相关的观点的集合，而是一个不同观点相互交织、相互关联、相互联结的体系。

通常，理解一个新概念最好的方法是通过一个具体的例子。那么，就让我们从分析亚里士多德世界观开始吧。

亚里士多德的观点和亚里士多德世界观

在西方世界，我所说的亚里士多德世界观是公元前300年到公元1600年间占统治地位的观点体系。这个世界观的基础是一系列由亚里士多德（公元前384—公元前322年）进行了最清晰、全面的表述的观点。值得注意的是，“亚里士多德世界观”这个词并不特指亚里士多德本人所秉持的观点的集合，而是指亚里士多德死后，西方主流文化共享的一系列观点，而这一系列观点很大程度上以亚里士多德的观点为基础。

要理解亚里士多德世界观，从亚里士多德自己的观点开始会比较容易。随后，我们将讨论这些观点在亚里士多德死后几个、十几个世纪里的某些发展演变。

亚里士多德的观点

亚里士多德秉持大量与我们现在截然不同的观点。下面是几个例子：

（1）地球位于宇宙中心。

（2）地球是静止的，也就是说，它既不围绕任何其他天体（比如太阳）运行，也不围绕自身轴线旋转。

（3）月亮、其他行星和太阳围绕地球运行，大约每24小时运行一圈。

（4）在月下区里，也就是地球和月球之间的区域（包括地球本身），有四种基本元素，即土、水、气和火。

（5）在月上区里，也就是月亮以外的区域，包括月亮、太阳、行星和恒星，物体由第五种基本元素“以太”构成。

（6）每种基本元素都有一个基本性质，这一基本性质决定了元素的表现特征。

（7）每种基本元素的基本性质都通过这一元素的运动趋势表现出来。

（8）土元素有一种向宇宙中心运动的天然趋势。（这就是为什么石头会直着掉下来，因为地球的中心也就是宇宙的中心。）

（9）水元素也有一种向宇宙中心运动的天然趋势，但是这一趋势比土元素弱。（这就是为什么当泥土和水混合后，两者都会向下运动，但最终水会留在泥土上面。）

（10）气元素天然地向土和水以上、火以下的区域运动。（这就是为什么当把气打入水中，气泡会从水下升起来。）

（11）火元素有一种向远离宇宙中心的方向运动的天然趋势。（这就是为什么火在空气中向上燃烧。）

（12）组成行星和恒星等物体的元素以太，有一种进行完美的圆周运动的天然趋势。（这就是为什么行星和恒星持续围绕地球，也就是围绕宇宙中心，做圆周运动。）

（13）在月下区，一个运动的物体会自然趋于静止，原因要么是组成这一物体的元素到达了其在宇宙中的自然位置，要么是这些元素被其他东西（比如地球表面）阻止，不能继续向其在宇宙中的自然位置运动。其中第二个原因更加常见。

（14）一个静止的物体会保持静止，除非有一个运动来源（要么是自身运动，比如一个物体往自己在宇宙中的自然位置的运动，要么是外界的运动，比如我把钢笔从书桌这边推到另一边）。

这些观点只是亚里士多德的观点中非常小的一部分。亚里士多德在伦理学、政治学、生物学、心理学和进行科学研究的合理方法等领域，都有广泛的观点。和我们大多数人一样，亚里士多德也有成百上千个观点，但其中大部分都与我们的观点非常不同。

重要的一点是，亚里士多德的这些观点并不是不同观点的随机集合。当我说这些观点不是随机的时候，我的一层意思是亚里士多德有足够的理由秉持其中大部分观点，而且这些观点远不是幼稚的看法。上面

列举的观点，每一条都已被证明是错误的，但如果考虑到当时可以得到的数据，每一条又都很有根据。举个例子，在亚里士多德的年代，最好的科学数据都强有力地表明地球位于宇宙中心。这个观点虽然后来被证明是错误的，但其并不是异想天开的结果。

当我说这些观点并非随机时，我的另一层意思是这些观点组成了一个相互关联、环环相扣的观点体系 。为了展现亚里士多德的观点是如何相互关联、环环相扣的，让我分别用一个错误方法和一个正确方法来描绘它们。

首先是用错误方法描绘出的画面，我将用去食品杂货铺的购物清单做个类比来说明。大部分人列购物清单的时候，最终单子上的物品都是任意排列的，它们之间的联系仅仅是去食品杂货铺时我们能够或是希望找到这些东西。我们可以整理这些购物清单，比如乳品都放在清单的一个部分，面包、蛋糕等烘焙食品放在另一个部分，等等，但是大部分人其实都觉得分不分类无所谓。所以，结果就是我们得到了一张物品排列随意而且没有特定关联的购物清单。

当你思考亚里士多德的观点时，不要将其当作一张物品之间没有联系的购物清单。也就是说，不要把观点的集合描绘成图1-1中有些杂乱无章的购物清单那样。相反，接下来我会给你一个更好的画面。你可以把观点的集合想象成一幅拼图，其中每一块拼板都是一个观点，这些观点以一种清晰、固定、相互关联、环环相扣的方式拼合在一起，就像拼图的不同拼板拼合在一起一样。也就是说，亚里士多德的观点体系更像是图1-2中的样子。

（1）地球位于宇宙中心。
（2）地球是静止的。
（3）月亮、其他行星和太阳围绕地球运行，大约每24小时运行一圈。
（4）月下区的物质由四种基本元素构成：土、水、气和火。
（5）月上区的物质由基本元素“以太”构成。
（6）每种基本元素都有一个基本性质，这一基本性质决定了元素的表现特征。
（7）每种基本元素的基本性质都通过这一元素的运行趋势表现出来。
（8）土元素有一种向宇宙中心运动的天然趋势。
（9）……
（10）……
⋮

图1-1　像购物清单一样排列的亚里士多德的观点

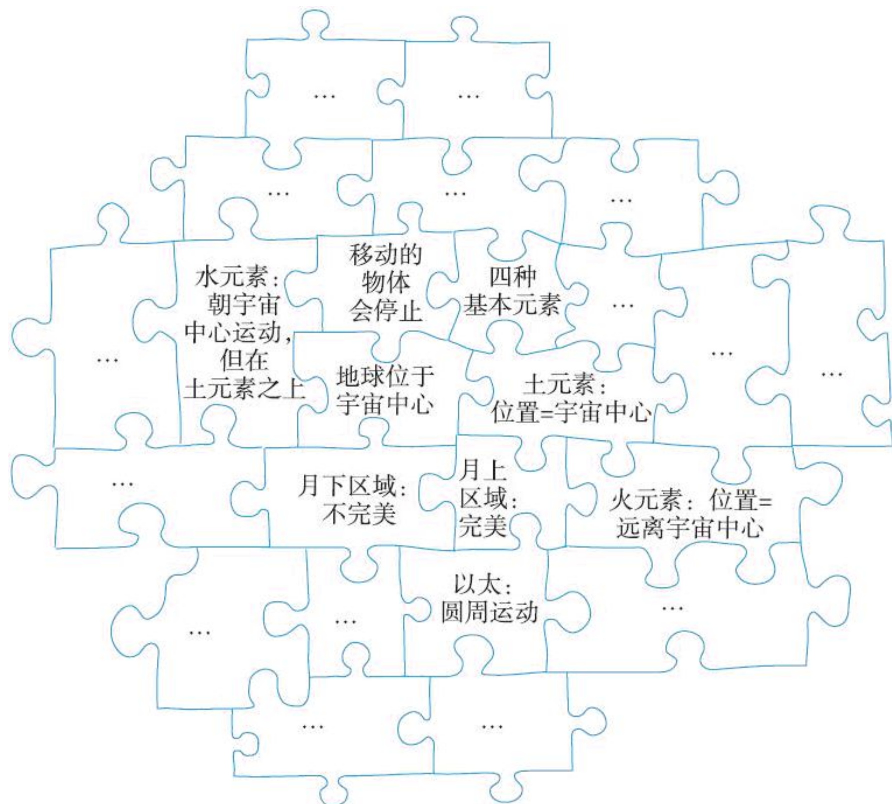


图1-2　亚里士多德的观点拼图

拼图这个比喻可以体现我在使用“世界观”这个概念时的主要特点。首先，拼图的拼板不是独立的、相互隔离的；相反，拼板之间是有内在联系的。一块拼板与其旁边的拼板相互咬合，旁边的这块拼板又与旁边的拼板咬合，以此类推。所有拼板是相互联结、相互关联的，整体结果就是我们得到了一个体系，体系内的每个部分相互拼合，形成了一个内部相互联结、相互关联，具有稳定性和一致性的整体。

与此类似，亚里士多德的观点相互拼合，形成了一个内部相互关联、具有一致性的体系。每一个观点都与其周围的观点紧紧相连，这些周围的观点又继续与围绕在外的观点紧紧相连，以此类推。

如果要用实例说明亚里士多德的不同观点如何相互拼合，可以拿“地球是宇宙中心”的观点作为例子。这个观点与“土元素有一种向宇宙中心运动的天然趋势”的观点紧密相连，毕竟，地球本身主要由土元素组成。这样一来，“土元素天然地向宇宙中心运动”的观点和“地球本身位于宇宙中心”的观点就完美地拼合在一起了。

同样地，这两个观点都与“一个物体只有在存在外界运动来源时才会运动”的观点紧密相连。正如我的笔，除非有人或有东西去移动它，否则

它将保持静止，对地球来说也是这个道理。由于组成地球的大重量元素在很久以前就已经移动到宇宙中心，或者说是到了最大程度上接近宇宙中心的位置，因此它们现在就会保持静止，没有一个物体强大到可以移动像地球这样巨大的物体。所有这些观点反过来又与“基本元素都有一个基本性质”的观点以及“物体之所以会有它们所展示出来的运动模式，很大程度上取决于组成物体的元素的基本性质”这一观点紧密相连。总结一下，我要表达的基本观点就是亚里士多德的观点像拼图的一块块拼板一样相互联结。

除此之外，请注意，在一幅拼图中，核心拼板和外围拼板存在一些不同点。由于拼板之间相互联结，一块位于中心位置的核心拼板不能用另一块不同形状的拼板来替换，否则可能需要替换掉几乎整个拼图。而外围拼板则可以在对拼图剩余部分影响相对不大的情况下进行替换。

类似地，在亚里士多德的观点中，我们可以区分出核心观点和外围观点。外围观点可以在不对整体世界观进行大量改动的情况下进行替换。比如，亚里士多德认为宇宙中有五大行星（不包括太阳、月球和地球）。在不运用当代科技的情况下，五大行星是所能分辨出的全部行星。不过，假设当时出现了存在第六大行星的证据，亚里士多德就可以很轻松地采纳这个新观点，而并不需要对他的整个观点体系进行重大调整。一个观点如果即使本身发生变化也不对其所在的观点体系产生实质性改变，那它就是一个典型的外围观点。

与此相反，思考一下“地球是静止的，并且在宇宙中心”这个观点。在亚里士多德的观点体系里，这是一个核心观点。值得注意的是，这个观点之所以是核心观点，并不是因为亚里士多德对此深信不疑，而是因为它就像一幅拼图里靠近中心位置的拼板，如果把它去掉或替换掉，那么与它相关联的观点都要发生重大变化，而这反过来又会导致几乎整个亚里士多德观点体系的调整。

要说明这一点，让我们假设亚里士多德试图用别的观点替换“地球位于宇宙中心”的观点，比如用“太阳是宇宙中心”这一观点。如果亚里士多德只是想简单地把这个观点去掉，也就是把拼图中的这块拼板拿走，然后用“太阳是宇宙中心”的新观点来填补位置，那么他能够在保持拼图其他部分完好的情况下做到这一点吗？

答案是不能，因为“太阳是宇宙中心”的新观点不能与拼图的其他部分拼合在一起。举个例子，重量大的物体很明显会向地球中心掉落。如果地球的中心不是宇宙的中心，那么亚里士多德提出的“重量大的物体（指主要由土和水两种大重量元素组成的物体）有一种向宇宙中心运动的天然趋势”的观点就需要被换掉。这又需要替换大量其他相互联结的观点，比如“每个物体都有一个基本性质，这一基本性质决定了物体的表现特征”的观点。简言之，在这个例子里，试图替换哪怕一个观点都需要替换与其相互联结的所有观点，而这种情况通常需要建立一个全新的观点拼图。

同样地，这些都进一步表明亚里士多德的观点不是随机的、杂乱无章的观点集合，而是一个相互联结、像拼图一样的观点体系。每一个观点拼合在一起组成一个各部分环环相扣、具有一致性的观点体系，这就是我在运用世界观这个概念时的核心理念。简言之，当我谈到世界观的时候，请想到拼图这个比喻。

亚里士多德世界观

到目前为止，我们主要讨论了亚里士多德本人的观点，你可能会感觉世界观所涉及的是某个人的观点拼图。有时人们说起世界观时，确实是这个意思，这其中包含的一层意思就是我们每个人的观点体系与其他人相比多少都有些不同，也就是世界观总有些细微差异。当然，我们之所以成为我们，我们自己的世界观也是原因之一。

然而，对本书来说，“世界观”更重要的一层含义是一个更广义的概念。比如，从亚里士多德去世后到17世纪，西方主流社会都或多或少地运用亚里士多德提出的方式来看待这个世界。当然，这并不是说每个人都相信亚里士多德所秉持的观点，也不是说在这段时期，这个观点体系的内容没有增加或改变。

举个例子，在这个时期的多个时点上，犹太教、基督教和伊斯兰教的哲学神学家都把亚里士多德世界观与宗教信条进行了融合。这些融合体现了亚里士多德世界观在亚里士多德死后几百年间的某些变化。也有些人对宇宙的看法完全不同于亚里士多德。比如，相比于亚里士多德，有些人的观点基础与柏拉图（公元前428—公元前348年）的看法更为相近。这种以柏拉图观点为基础的观点体系就成为亚里士多德世界观以外的另一种世界观。（顺带提一句，柏拉图是亚里士多德的老师，尽管如此，亚里士多德最终还是与柏拉图在观点上发生了巨大的分歧。）

尽管亚里士多德的观点得到了修正，或有人秉持与亚里士多德世界观不同的世界观，但从公元前300年到17世纪，西方主流世界多数观点体系都与亚里士多德世界观的内在精神一致。包括“地球是宇宙中心”“物体具有基本性质和天然运动趋势”“月下区是不完美的区域而月上区是完美的区域”等在内的观点，都是西方主流世界所达成的共识中的一部分。这些由一群人共同持有的观点像每个人自己秉持的观点一样，拼合在一起，形成一个环环相扣、具有一致性和稳定性的观点体系。因此，当我谈到亚里士多德世界观时，我脑中浮现的就是这个由一群人所秉持的、与亚里士多德本人观点一脉相承的观点所形成的拼图。

牛顿世界观

为了与亚里士多德世界观进行对比，让我们来简短地了解一下另一个不同的观点体系。17世纪早期，出现了新证据（主要来自于当时刚刚发明的望远镜），表明地球围绕太阳运动。正如我们在前面探讨过的，

在亚里士多德世界观的拼图中，我们不能在不替换几乎所有其他拼板的情况下，只是简单地把“地球是宇宙中心”的这块拼板替换掉。因此，前面所说的新证据就意味着亚里士多德世界观站不住脚了。这很有趣，也有些复杂，后续在本书中我们将对此继续进行探讨。但是现在，我们只要知道，最终一个新的观点体系逐渐形成。更确切地说，这个新体系包括了“地球在运动”的观点。

让我们把这个最终取代亚里士多德世界观的观点体系称为牛顿世界观。这一观点体系以艾萨克·牛顿（1642—1727）及其同时代人的著作为基础，并在其后多年中得到了相当可观的丰富和发展。与亚里士多德世界观一样，牛顿世界观也包含大量观点，下面是其中几个例子：

（1）地球围绕自身轴线旋转，大约每24小时旋转一周。

（2）地球和行星沿椭圆形轨道围绕太阳运转。

（3）宇宙中基本元素的种类略多于100种。

（4）物体表现出来的运动特征主要受外力影响（比如重力，这就是为什么石头会往下落）。

（5）组成像行星和恒星这样的物体的基本元素与组成地球上物体的基本元素相同。

（6）描述地球上物体运动行为的规律（比如，一个正在运动的物体趋向于保持运动状态）同样适用于行星和恒星这样的物体，等等。

这些观点和其他上千条观点共同组成了牛顿世界观。

西方世界中大部分人从小到大所接受的都是这一世界观。我们在前面把亚里士多德世界观比作拼图，这个类比对组成牛顿世界观的观点也同样适用。具体来说，牛顿世界观也是一个观点体系，其中每个观点像拼图的拼板一样拼合在一起，组成一个具有稳定性、一致性，并环环相扣的体系。尽管亚里士多德体系和牛顿体系都具有稳定性和一致性，但它们是不同的拼图，其核心观点存在巨大差异。

从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变是巨大的，本书第二部分的大部分内容都围绕这个转变展开。我们将会看到，这个转变主要由17世纪初期的一系列新发现所激发。接下来在第三部分中，我们将探讨一些较新的、令人意外的发现。就像17世纪早期的新发现使当时存在的观点拼图发生了变化，最近几十年间的新发现也会改变我们现有的观点拼图。

结语

在结束对世界观概念的初步介绍前，我想再简单探讨两点。第一点

关于我们所掌握的、可以支持组成我们世界观观点的证据，第二点关于组成我们世界观的很多观点所具有的明显常识属性。

证据

我们已经花了很多笔墨来探讨观点，假设人们秉持其观点都是有理由的，也就是说，我们似乎会有些证据 来支撑我们的观点。

比如，假设你认为亚里士多德是错的，认为地球不是宇宙中心，因此，你非常可能认为太阳是我们这个太阳系的中心，而地球和其他行星围绕太阳运转。我对你是否有支撑这一观点的证据表示怀疑，但是同时，我也怀疑你的证据实际上与你所认为的并不一样。让我们暂停几秒钟，问一问自己，“为什么我认为地球围绕太阳运转？我有什么证据来证明这一点？”我没有在开玩笑，请把这本书放下几秒钟，然后仔细思考一下这些问题。

准备好了吗？想一想你有没有任何直接证据来支撑你所秉持的“地球围绕太阳运转”的观点。当我说“直接证据”时，我所想的是：当我骑自行车时，我就有了直接证据证明我在运动，我感受到了自行车的运动，感受到了吹在我脸上的风，看到了我运动着经过了其他物体，等等。你有没有像这样的直接证据来证明“地球围绕太阳运转”？似乎没有。我们没有感到我们正在运动，也没有感到持续的强风从我们的脸上吹过。事实上，当你望向窗外时，无论如何地球都好像是静止的。

如果你想想自己认为“地球在运动”的原因，我认为你会发现并没有直接证据能证明地球在围绕太阳运动，一个都没有。尽管如此，你的观点当然是合理的，你当然也有一些证据来支撑它。但是，跟直接证据相比，你的证据更像是下面这样：让自己试着有那么一会儿认为地球不是围绕太阳运转的。你有没有发现，这个观点并不能与你的其他观点拼合在一起？比如，你的一个观点是，老师告诉你的大部分都是真理，那么上述这两个观点就不能拼合在一起；你的另一个观点是，在权威性书籍中读到的大部分内容都是准确的，那么这两个观点也不能拼合在一起；你还有一个观点是，我们这个社会的专家不可能在这么基础的问题上错得那么离谱，它们也不能拼合，等等。

总的来说，你认为地球围绕太阳运转，主要是因为这个观点可以与你观点拼图里的其他拼板拼合在一起，而相反的观点则不能放入这个拼图中。换句话说，你用来支撑这个观点的证据与你的观点拼图紧密相连，也就是与你的世界观紧密相连。

顺带提一下，你会说就算我们自己没有直接证据证明地球围绕太阳运转，也不能说我们秉持这个观点是不合理的，因为天文学家和相关领域里的专家肯定有这样的直接证据。但是，正如我们在后续章节中将会看到的，即便是专家，也没有这样的直接证据。这绝不是想说没有证据能很好地支撑“地球围绕太阳运转”的观点。好的证据是存在的。但是，

我认为这个证据并不像人们通常所认为的那么直接。这种情况存在于我们的很多（很有可能是大多数）观点中。

总之，我们只能为我们所秉持的极小一部分观点拿出直接证据。对我们的大多数观点（也许是几乎所有观点）来说，我们之所以秉持这些观点，主要在于它们可以跟一个很大的、其中各个观点相互联结的观点集合拼合在一起。换句话说，我们之所以秉持这样的观点主要是因为它们可以跟我们的世界观拼合在一起。

常识

我们大部分人从小到大接受的都是牛顿世界观，而当谈到牛顿世界观时，所提到的大部分观点似乎都变成了常识。但是，请你再思考片刻，你会发现这些根本不是常识。举例来说，地球看起来并不是围绕太阳运动的。正如上面提到过的，如果望向窗外，你会发现地球看起来处于完美的静止状态。同时，太阳、恒星和行星看起来是围绕地球运转的，大约每24小时转一圈。再想想“运动的物体趋向于保持运动”的观点，你可能在先前所接受的教育中就学习到了这个观点。我认识的大部分人都把这个观点当作一个显而易见的真理。

然而，根据我们日常生活的经验，运动的物体看起来并不是这样的。比如，扔出去的飞盘并不是一直保持运动。它们很快掉到地上，停了下来。扔出去的棒球也没有一直保持运动，就算没有人接到，它们也会很快越滚越慢，最后停下来。在我们的日常生活里，没有 东西会一直保持运动。

我想说的是，一般来说，尽管我们大部分人都认同这些观点，但是上面提到的这些观点，也就是牛顿世界观的部分观点，并不是 我们通过常识或者一般经验就能得到的。但我们大部分人都是在牛顿世界观的伴随下长大的，由于在我们很小的时候就被灌输了这些观点，所以现在，对我们来说，它们看起来显而易见是正确的。但是设想一下，如果我们从小到大接受的都是亚里士多德世界观，那么亚里士多德的观点也同样会看起来像常识。

简言之，从任何一个世界观自身的角度来看，这一世界观的观点都显而易见是正确的。所以，诸如“我们的基本观点看起来是正确的、看起来是常识性的、看起来显然是对的”这类事实，都不是特别好的证据，不能证明这些观点是正确的。

这就带来了下面这个有趣的问题：毫无疑问，亚里士多德世界观被证明是严重错误的。地球不是宇宙中心，物体的运动特征不是由其内在的“基本性质”决定的，等等。重要的是，并不是每个单独的观点错了，而是由这个观点体系组成的拼图被证明是错误的。现在我们所认为的宇宙与亚里士多德世界观里所归纳出的宇宙完全不同。然而，尽管这些观点不正确，但它们组成了一个具有一致性的观点体系，这一体系里的观

点在将近2000年的时间里一直看起来显然是正确的，而且成了常识。

那么有没有可能即使我们的观点体系具有一致性，而且对我们来说显然是对的、是常识，但我们的这个拼图，也就是我们的世界观，也同样会被证明是错误的呢？毫无疑问，我们的某些观点会被证明是错误的。但我所提出的问题是：我们看待这个世界的整个方法会不会被证明是错误的，就像亚里士多德世界观一样，被证明是一个错误的拼图？

或者，让我换个方式来表达这个问题：当我们审视亚里士多德世界观时，其中很多观点都让我们觉得古怪、奇特。如果我们设想一下自己的后代，比如在几百年后的未来，或者只是想想我们自己的孙辈或曾孙一辈，那么我们自己现在的观点，也就是那些对你我来说显然是正确的、是常识的观点，对他们来说会不会也是一样古怪和奇特？

这些都是很有趣的问题。在本书快要结束的时候，我们将探讨某些新近的发现，这些发现表明在我们的世界观中，某些部分可能真的会被证明是一种错误的看待世界的方法。但是现在，我们将把这些问题留作思考，然后进入下一个主题。

第2章　真理

本章和后面一章的中心是两个相互关联的主题，一个是真理，另一个是事实。对一本讨论科学史和科学哲学的书来说，这两个话题多少有些不寻常，但我认为，为了摒弃一些常见的错误观念和过于简单化的认识，这两个话题值得在开始的时候就好好思考一下。

一个似乎传播非常广泛的观点是，事实的累积是一个相对直接的过程，而科学的功能（在很大程度上也可以说是科学的主要目的），是提供正确的理论来解释这些事实。这两点基本上都是对事实、真理，以及两者与科学之间关系的错误理解。接下来两章的一个目标就是要表明这些问题往往比人们所能领会的更为错综复杂。另外，在这两章中，我们将发现，相对于上面那个简单观点所描述的，也就是"科学就是一个不断给出正确理论来解释直接明确的事实的过程"，事实、真理和科学三者之间的关系更加复杂和有争议性。随着本书不断展开，这一点将变得越来越明显。

基本命题

"地球围绕太阳运动"的观点是我们世界观的一部分，我们认为这个观点是真的，认为亚里士多德世界观里非常普遍的"地球是静止的，太阳围绕地球运动"的观点是假的。在我们的观点体系里，"地球围绕太阳运动"的观点对我们来说似乎显然是真的，而且似乎有无数事实可以证明这个观点的正确性。然而在亚里士多德世界观里，"地球是静止的"观点似乎同样显然是真的，而且也有同样多的事实证明地球确实不运动。那么，我们的观点与那些观点相比有什么不同呢？如果我们关于地球的观点确实是真的，亚里士多德世界观的观点确实是假的，那又是什么决定了一个观点为真而另一个观点为假？或者，更概括地说，什么是真理？

对于这个问题，通常的答案都是"事实是使一个观点为真的因素"。举个例子，你通常会听到很多证明地球围绕太阳运动的事实，而这些事实就决定了这个观点是真的。有趣的是，事实和真理的定义往往依赖于彼此。人们在被问到"什么是真理"时，常常会回答，"真的观点是有事实支撑的观点"；而当被问到"什么是事实"时，又会说"事实是为真的东西"。事实上（这里我并没有用双关语），我使用的字典里，真理的定义是"被证实的或者不存在争议的事实"，而事实的定义是"被认为为真的事物"。

但是，像这样用事实定义真理，又用真理定义事实的循环对解决我们的问题并没有什么建设性作用。什么是真理？什么是事实？真的/事实性观点和假的/非事实性观点之间的区别是什么？是什么决定某些观点是真的/事实性的，而另一些观点则是假的/非事实性的？

在解决这些问题之前，让我们花些时间思考一下我们是不是对"真

理”这个命题太想当然了。我们都秉持大量观点，也认为自己的这些观点是真的。毕竟，如果不是这个原因，还能有什么别的理由让我们相信自己所秉持的观点？如果你不相信本书里将讲述的大部分内容都是真的，那么你很可能也就不会买这本书了。如果你是因为大学课程的要求而读这本书，那么你很可能正花费大量资源，包括时间和金钱，来进修大学学业。如果你不认为自己会在大学期间学到大量真的东西，那你很可能就不会花这么多资源来读大学了。再来想想历史，或者我们现在所处的这个时代，这两者都包含各种各样的事件，比如战争、暗杀、宗教迫害等，它们之所以发生，大都是因为人们深信某些特定的观点是真的，而其他观点是假的。所以，即使你还没有明确地考虑过真理这个命题，但你非常有可能对它感兴趣。我们每时每刻都在把真理当作是理所当然的，而这样做所带来的后果往往并非无足轻重。

然而，我们确实很少思考真理这个命题。正如前面提到过的，本章的主要目标之一就是对真理进行讨论，并体会其中所涉及的复杂性。我们并不会对前面提出的关于真理的问题给出确定答复，毕竟人们对这些问题的争论至少可以追溯到哲学和科学的诞生之日。鉴于在过去2000多年里，人们都没能在这些问题上达成共识，那么想在本章结束时就得出一个共识也就不太可能了。不过，在过去这些年里，关于真理，还是出现了某些标准性的观点，我们至少可以大致了解这些标准性观点，并在这个过程中，体会其中某些复杂性。

| 澄清问题 |

在进行我们这样的研究时，确定需要解决的问题，并把它始终记在脑中，将会是一个很有益处的做法。同时，把需要解决的问题与其他可能相关的问题区分开来也是值得一试的做法。

当我提出“什么是真理”的问题时，我脑中出现的中心问题是：是什么使真的叙述或真的观点成为真的？又是什么使假的叙述（或观点）成为假的？换句话说，真的叙述（或观点）有什么共同点可以使它们成为真的，而假的叙述（或观点）又有什么共同点可以使它们成为假的？

这个关于真理的中心问题经常被人们与关于真理的认识论问题相混淆。一般来说，认识论是关于知识的学说，是哲学的一个重要分支。关于真理的一个核心认识论问题是，我们通过什么方式知道了哪些叙述和观点是真的？这是个重要的问题，但是，再次说明一下，这并不是我们现在所关心的核心问题。

打个比方，假设我们有一大片树林，而我们想知道这片树林中哪些树是橡树。在这种情况下，我们的主要问题就是一个认识论问题，也就是，我们如何知道哪些树是橡树？花钱请林业专家是回答这个问题的一个很棒的方法。留心一下林业专家所给的意见，我们就可以知道这些树中哪些是橡树。林业专家指出一棵树是橡树，但这个事实并不是这棵树是橡树的原因。换句话说，“我们如何知道哪些树是橡树”和“是什么决定

了一棵树是橡树”是两个不同的问题。

正如橡树大概具有的某些共同点决定了这些树是橡树，真的叙述（或真的观点）大概也具有某些共同点，使它们成为真的叙述（或真的观点）。而这就是我们所感兴趣的核心问题：真的叙述（或观点）有什么共同点而可以使它们成为真的？

多年来，已有大量关于真理的理论，作为这个核心问题可能的答案被提出。这些理论中的大部分都可以被划为两类。我们将把第一类理论称为真理符合论，而把第二类称为真理融贯论。这两个理论类别并不是针对真理相关理论仅有的分类方式，但是这两个类别可以包含大部分理论，而且可以解释关于真理的很多复杂问题。同样值得注意的是，在这个阶段，我们不会关注符合论和融贯论中每一个具体的理论内容。在合适的地方，我们将会提到一些比较著名的具体理论。让我们从真理符合论开始。

| 真理符合论 |

概括地说，根据真理符合论，决定一个真的观点为真的因素是这个观点与现实相符合。决定一个假的观点为假的因素是这个观点没能与现实相符合。

举个例子，如果“地球围绕太阳运转”是真的（我们大部分人是这么认为的），那么决定这个观点为真的是，在现实中，地球确实围绕太阳运转。也就是说，决定这个观点为真的因素是这个观点与事物真实情况相符合。同样地，如果“地球是静止的，太阳围绕地球运转”是假的，那么这个观点之所以为假是因为它与现实不符。

“现实”这个词的用法很多，所以要理解真理符合论，关键点是理解“现实”这个词是如何运用的。在这个例子里，“现实”肯定不是指你和我所认为的现实。一般来说，你和我所认为的现实不会对现实到底是什么样子产生影响。同样地，最优秀的科学家所认为的现实，或大多数人所认为的现实，或某个瑜伽大师在顿悟之时所认为的现实，都不会对现实本来的样子产生影响。真理符合论里所使用的“现实”，不是“你的现实”“我的现实”“心理学家蒂莫西·利瑞的现实”，也不是某个受致幻药影响的熟人的现实，或者任何类似的现实。实际上，“现实”指的是“真的”现实，这样的现实是完全客观的，独立于我们，通常也绝不取决于大多数人是如何认为的。

当然，我们的某些观点可能会以某种无聊的方式影响现实的某些方面。举个例子，我可能认为家里客厅太热了，因此就调低了恒温器的温度。这样，我这个特定的观点可能就促使现实特定的某个方面发生了改变，比如我家客厅里的温度降低了。然而，真理符合论的拥护者仍然主张，我们的观点一般来说不会对现实产生影响。

所以，总结一下，根据真理符合论，决定一个观点为真的因素是这个观点与独立、客观的现实相符合；决定一个观点为假的因素是这个观点没能与那样的现实相符合。

｜真理融贯论｜

根据真理融贯论，决定一个观点为真的因素是这个观点与其他观点连贯一致，或紧密结合。以我所秉持的“地球围绕太阳运转”的观点为例子。我通常相信自己在权威性天文学书籍里所读到的内容，而这些书又明确地告诉我地球确实真的围绕太阳运转。我通常相信这一领域里专家所说的话，而这些专家同样也告诉我地球围绕太阳运转。总的来说，我所秉持的“地球围绕太阳运转”的观点与其他观点一致，根据真理融贯论，这样的一致性就是决定一个观点为真的因素。

让我们再回过头来想想第1章讨论世界观时用到的拼图的比喻。回想一下，世界观是一个观点体系，其中每个观点就像拼图的拼板一样，环环相扣。同样的比喻也可以用来说明真理融贯论。一个真的观点就像拼图里的一块拼板。也就是说，就像某块特定的拼板与整个拼图拼合在一起，如果一个特定的观点也可以像这样与整个观点拼图拼合在一起，那么，这个观点就是真的。一个假的观点就像一块不能与整个拼图拼合的拼板。

总结一下，根据真理融贯论，决定一个观点为真的因素是它可以融入一个整体的观点集合，而决定一个观点为假的因素则是它不能融入一个整体的观点集合。

融贯论的不同种类

到目前为止，我们只是非常笼统地讨论了一下融贯论。我们需要花点时间来理解一下可能会有多少种不同的融贯论。正如福特是汽车的一种，而在福特这个品牌下还有一系列不同的车型，融贯论实际上也是一个理论类型，在这个类型里还有许多具体的理论。

不同的融贯论之间，主要差异在于把谁的观点算在观点拼图里。我们是只考虑某个人的观点吗，比如“地球围绕太阳运转”，那么这个观点只需与这个人的其他观点一致，对这个人来说就是真的了吗？还是我们所关注的是一群人的观点，比如还是“地球围绕太阳运转”的观点，那么这个观点必须与这群人的观点集合相一致，才可以说对这群人来说是真的？如果我们所关注的是一群人的观点，那么，什么人可以算是这个群体的一员？是在某个特定地理区域居住的所有人吗？还是秉持某个相同世界观的人们？抑或是科学家群体或者其他专家群体？

根据上面一系列问题的答案，我们就可以得到多种更具体的融贯论。举个例子，如果我们关注的是某个人的观点，那么这可能就是个人主义融贯论。在这个理论中，一个观点如果能够与萨拉的其他观点相一

致，那么这个观点对于萨拉来说就是真的；一个观点如果能够与弗莱德的其他观点相一致，那么这个观点对于弗莱德来说就是真的，以此类推。需要明确的是，在个人主义融贯论中，真理是相对于所关注的个人的。也就是说，对萨拉来说为真的对弗莱德来说可能就不是真的。

如果我们选择关注某个群体的观点集合，那么所能得出的就是一种非常不同的融贯论，可以称之为团体 融贯论。为了说明这一点，假设我们认为，如果一个与科学相关的观点可以与西方科学家这个群体的观点集合拼合在一起，那么这个观点就是真的。为方便起见，让我们把这个观点称为以科学为基础的 融贯论。

请注意，尽管个人主义融贯论和以科学为基础的融贯论都属于真理融贯论，但却是截然不同的理论。要理解这一点，我想讲讲我的一个熟人，他名叫史蒂夫。史蒂夫发自内心坚定不移地相信月亮与地球之间的距离要大于太阳与地球之间的距离，月亮上有人居住，月亮上常常会有派对或其他狂欢盛宴。（史蒂夫的观点主要来自于对某些宗教经文严格的字面解读。与其他根据对别的宗教经文字面解读得来的观点相比，史蒂夫的观点是否或多或少更合理些，这个问题已经超出了本章的讨论范围。然而，值得一提的是，对宗教经文的字面解读常常会带来不同寻常的观点集合，比如地平说学会和地心说学会的观点，这两个学会的成员都相信地球是宇宙的中心。）

尽管史蒂夫的观点拼图与我的截然不同，可能跟你的也大相径庭，但其自身形成了一个完美拼合在一起的观点体系。具体来说，史蒂夫秉持的“月亮上有智慧生命居住”的观点与他的其他观点相一致。因此，按照个人主义融贯论，史蒂夫关于月亮的观点就是真的。重要的是，史蒂夫的观点对他来说，就像你我关于月亮的观点对于我们各自一样是真的。

然而，根据以科学为基础的融贯论，史蒂夫关于月亮的观点则是假的，因为这些观点与西方科学家的整体观点不一致。简单来说，个人主义融贯论和以科学为基础的融贯论是关于真理的两个不同的理论，尽管两者都属于融贯论。

在这里列出个人主义融贯论和以科学为基础的融贯论主要是为了说明在融贯论这个理论类别中还有许多不同的小类别。由于不同种类的融贯论的主要区别在于考虑了哪些人的观点，同时，存在很多不同的方法来解释具体考虑了哪些人的观点，因此我们必须明白，可能存在大量差异巨大的融贯论。

真理符合论的问题和困惑

乍看起来，某些符合论似乎是正确的想法。毕竟，按照这个理论，真的观点是能反映事物现实情况的观点，有什么能比这个说法更自然呢？然而，关于这一说法的某些思考却表明真理符合论面临一些难题。

到目前为止，主要难题是关于观点与现实间的关系。在考察这个难题之前，让我们暂时偏离一下正题，先来讨论一下通常被称为知觉表征论 的理论。把它称为“知觉理论”可能有一点夸张了，因为大部分人都把它当作是关于知觉如何发挥作用的常识性观点。尽管如此，它还是被以“知觉表征论”来命名，所以在我们的讨论中也将使用这个名称。

要理解这个关于知觉的理论，下面这个插图可能会有所帮助。让我们心里想一个自己的熟人，暂且称她为萨拉，假设我们可以窥探到萨拉的意识。借用漫画家向我们展示其笔下人物所思所想时常用的手段，这样我们就得到了图2-1。

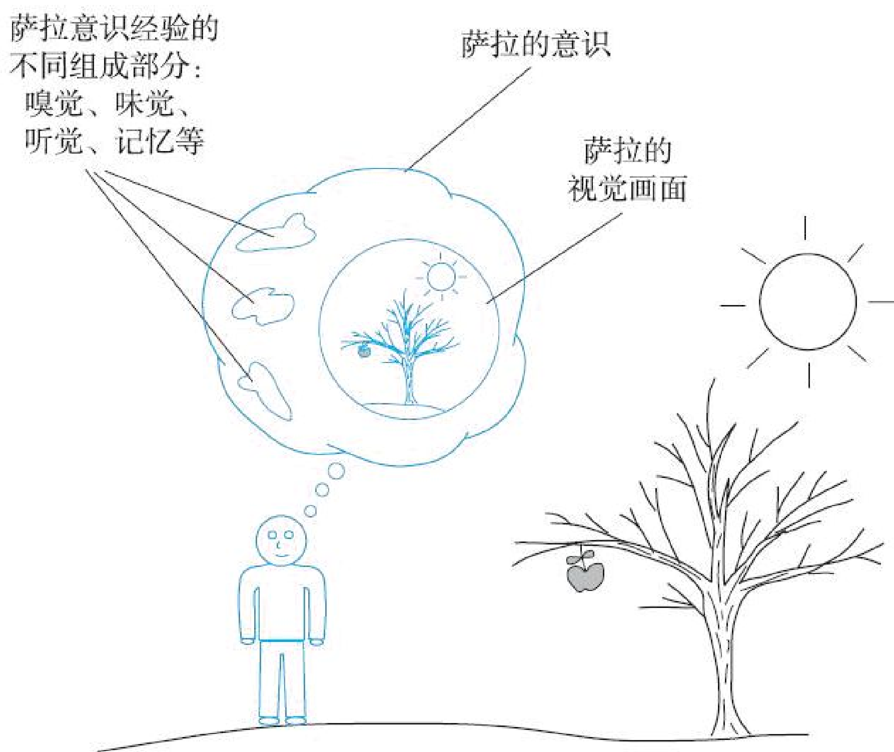


图2-1　一窥萨拉的意识

知觉表征论是一个关于感觉的概括性理论，涉及我们所有的感官，包括视觉、听觉、味觉等。不过，通过视觉来说明这个理论还是最容易的，所以接下来，我们的大多数例子都将是关于视觉感知的。然而，请注意，类似机制对其他感官也同样适用。

粗略地讲，当萨拉看树时，她就接收到了树、太阳和苹果等视觉画面，这些画面就是树的表征。同样地，如果正在看树的是你或我，那么我们将得到树和太阳等类似的视觉表征。

从本质上讲，知觉表征论的核心是：感官为我们提供了外部世界各

种物体的表征（对视觉来说，这些表征大致类似图画）。同样地，这是一个几乎所有人都认为理所当然的观点。不过，这个观点同时也有些有趣的推论，而这些推论却直接影响了真理符合论。

这些推论中最重要的一个是，这个观点意味着我们每个人从某种意义上来说与这个世界都是隔绝的。更具体地说，我们没有办法确定自身感官所提供的表征是否准确。这是个非常有力的论点，所以我将花些时间来论证一下。

具体来说，我将用两种不同的方法来解释“如果知觉表征论是正确的，为什么我们无法确定自身感官所提供的表征是否准确”。第一种解释关注的是我们如何评估表征的准确性，而第二种解释则围绕一个我称之为“《全面回忆》情境”的概念。

评估表征的准确性

思考一下我们如何评估一个普通的表征是否正确，比如一张照片或者一份城市地图，等等。假设在我们面前有一个普通的表征，比如一张恶魔塔的照片（恶魔塔是一个有趣的地质现象，位于美国怀俄明州东北部，是一个看起来像从地面上拔地而起的巨大圆柱体）。判断这张照片的准确性最直接的方法是亲自去怀俄明州，把照片跟实际的恶魔塔进行对比。同样，要评估一张纽约城市地图是否准确，你可以对比一下地图和地图所描绘的实际区域。要评估一张地形图是否准确，你可以对比一下地图上的地形特点和地图所描绘区域的实际地形。

归根结底，要评估表征的准确性，我们需要把①表征，比如恶魔塔的照片，跟②表征所代表的事物，比如恶魔塔本身，进行对比。

如果自身感官为我们提供了外部世界的表征，那么接下来一个合理的问题就是这些表征是否准确。正如我们刚刚讨论过的，要评估感官提供的表征是否准确，我们需要把这些表征和表征所代表的事物进行对比。

然而，让我们再看一看图2-1中萨拉的意识图解。假设萨拉想评估她关于苹果的视觉表征是否正确，要达到这个目的，她需要把苹果的视觉表征与真正的苹果进行对比。但是，萨拉没有办法这么做 。萨拉不能把苹果的视觉表征与真正的苹果进行对比的原因是她无法从自己的意识中走出来。从萨拉的角度来看，她所能运用的都在她的意识里。为说明这一点，让我们看一看图2-2，这幅图就是从萨拉的角度所描绘的，图中是萨拉全部所能运用的东西。萨拉无法从自己的意识经验中走出来，来对比自己意识经验里的东西和让她产生这个意识经验的东西。简单地说，萨拉似乎无论如何都无法对比苹果的视觉表征和真正的苹果，因此也就无法评估苹果的视觉表征是否准确。

萨拉是否可以把苹果的视觉表征与她触摸苹果时所得到的触感相对

比，或者与苹果的气味相对比，然后得出“自己关于苹果的视觉表征是准确的”结论？

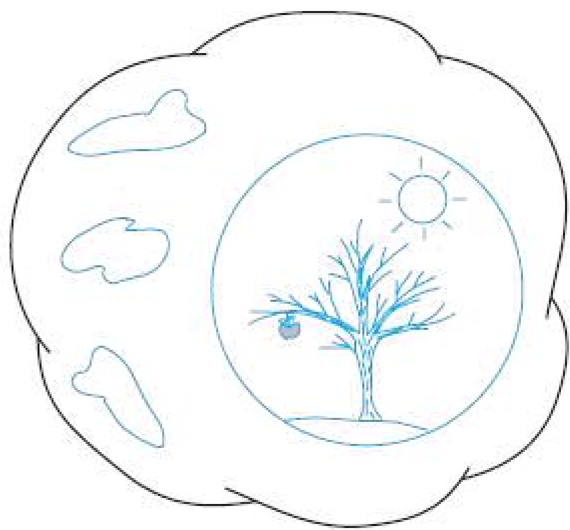


图2-2　萨拉的意识经验

萨拉当然可以把自己的视觉画面和触觉感受以及她闻苹果时所得到的嗅觉感受相对比，不过，要注意的是，她的触觉本身也是一个表征，嗅觉同样也是一个表征。所以，当萨拉把苹果的视觉画面与她触摸苹果时的触觉感受或者闻苹果时的嗅觉感受相对比时，她其实是在把一个表征与另一个表征进行对比。要评估视觉表征的准确性，萨拉需要把表征和这个表征所代表的事物进行对比，而不是与其他表征对比。

这个情形就像是为了评估恶魔塔照片的准确性而把照片和恶魔塔的地形图或者恶魔塔周围道路的地图进行对比。在这种情况下，对比是在两个表征之间进行的，而评估表征准确性所需要的对比，也就是表征与这个表征所代表的事物之间的对比，并没有进行。

这个推论说明，我们根本没有办法评估感官给我们提供的表征是否准确，或者换句话说，我们没有办法确定现实到底是什么样子的。

《全面回忆》情境

作为第二种对“如果知觉表征论是正确的，为什么我们无法确定自己关于这个世界的表征是否准确”的解释方法，思考一下《全面回忆》情境。《全面回忆》是一部科幻电影。电影的时代背景设定在未来的24世纪末，在这个时代，如果一个人想去旅行却负担不起旅费，那么他有一个更便宜的选择，那就是把旅行的体验植入自己的大脑中。也就是说，有公司专门经营这种虚拟旅行。你只要交钱，这个公司就会把一个机器连到你身上，你可以选择一段旅行，然后关于这段旅行完全现实的体验

就会直接植入你的大脑中。这些体验来自于特别真实的虚拟现实，让人们无法把它们与现实事物区分开来。（电影情节并不是我们讨论的关键点，不过却让我们看到，电影里主要人物无法区分他的意识经验是来自于现实，还是来自于植入他大脑中的那些并不是现实存在但感觉却很真实的画面。另一部有相似主题的热门电影是《黑客帝国》，电影中的想法绝不是好莱坞首先提出的，早在15世纪，笛卡尔就对这个想法进行了深入思考，这一点我们将在后续进行简要讨论。）

理解了这一点，让我们再看一看图2-1，思考一下萨拉的意识经验。萨拉认为自己之所以会产生关于苹果的视觉画面、触觉、味觉以及嗅觉感受，都是因为确实有一棵树，树上有一个苹果。但是，如果萨拉是在《全面回忆》情境里，也就是这些感官体验都是被植入她大脑中的，那么她将会有一模一样的意识经验。如果用漫画来表示，那么将会是图2-3的样子。请注意，不管是在图2-1里的正常情境中，还是在图2-3里的《全面回忆》情境中，萨拉的意识经验完全一样。萨拉根本没有办法确定自己是在正常情境里还是在一个《全面回忆》情境里。也就是说，萨拉没有办法确定使自己产生意识经验的外部世界是像图2-1那样还是像图2-3那样。总之，萨拉没有办法确定现实到底是什么样子的。

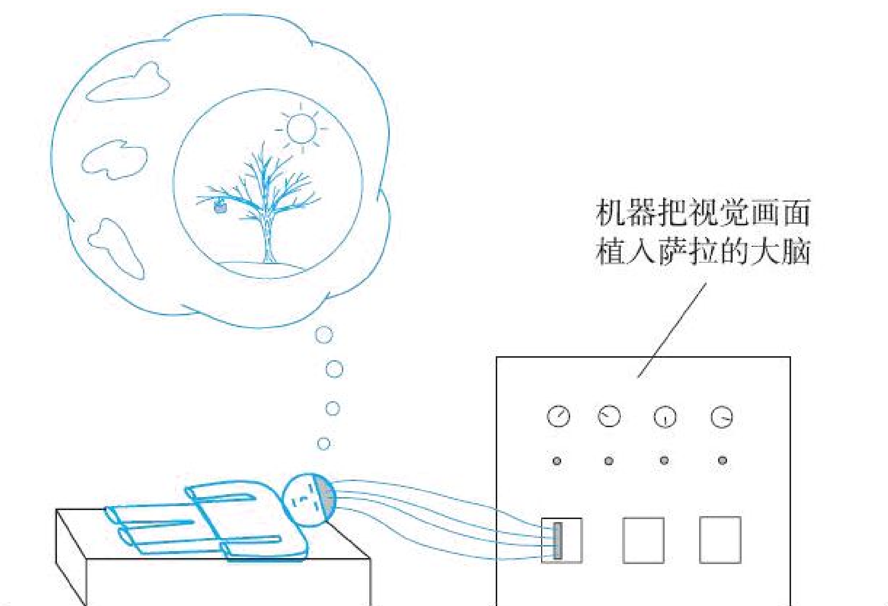


图2-3　《全面回忆》情境

当然，萨拉所遇到的情况在你身上也同样会发生。假设你生活在24世纪，而你是一位历史学家，专注于研究21世纪早期的历史。假设你已经决定要通过《全面回忆》情境体验生活在21世纪早期是什么样子的。在这个《全面回忆》情境中可能会包括阅读（或者让你觉得在阅读）一本那个年代科学史和科学哲学的书。你现在的体验，也就是这些文字、这一页、这本书，以及你现在周围的环境，都可能是《全面回忆》情境

的一部分。而且如果真的是这样，你也根本不可能知道自己身在这样一个情境中。

总之，尽管我们都认为自己的体验来自于“正常”的现实，但我们并不能确定这些体验不是来自于某种《全面回忆》情境植入我们大脑中的现实。简言之，我们无法确定现实真正的样子。

一点提醒

注意，不要误解上述讨论的关键点。经过这些讨论，得到的结论不应该是“现实与我们所认为的完全不一样”，而应该是“我们无法确定现实真正的样子”。如果我们无法确定现实真正的样子，那么随之而来的问题就是，如果真理符合论是正确的，那么我们就永远无法确定一个观点，或者至少是关于外部世界的一个观点，是否是真的。

这并不是说真理符合论是错误的，或者是不可接受、不一致的。回忆一下，真理符合论是一个关于“是什么因素决定一个观点真假”的理论，而对准确性的讨论和《全面回忆》情境则是从认识论角度，解释我们能知道什么。同时，就像我们之前讨论过的，“是什么因素决定一个观点真假”的问题与关于知识的认识论问题是不同的。然而，对准确性的讨论和《全面回忆》情境确实解释了符合论一个相当有趣的方面。这个方面正是很多人认为符合论没有吸引力的原因之一。

| 真理融贯论的问题和困惑 |

让我们从个人主义融贯论开始讨论。不要忘了，根据这个理论，如果一个观点可以与某个人整体的观点集合拼合在一起，那么这个观点对于这个人就是真的，如果不能拼合在一起，那就是假的。所以对我的朋友史蒂夫（前面提到过）来说为真的观点与对我来说为真的观点是不同的。举个例子，对史蒂夫来说，“月球上面有人居住”是真的，而对我来说，“月球上面无人居住”是真的。对史蒂夫来说，“月球与地球之间的距离大于太阳与地球之间的距离”是真的，而对我来说，相反的结论是真的。总之，没有独立存在的真理，确切地说，真理都是相对于某个个体而言的。

重要的是，在个人主义融贯论里，没有“更真”或“更假”的真理，史蒂夫“月球上有人居住”的观点（对他来说）为真的程度与我“月球上没有人居住”的观点（对我来说）为真的程度是一样的。根据个人主义融贯论，没有办法说我的观点比史蒂夫的观点更真一些。

总之，个人主义融贯论是一种极端的“一切皆有可能”的相对主义。虽然并不能因此一概而论地认为个人主义融贯论都是不正确的，但值得注意的是，大部分人都认为像这样具有如此强的相对性的视角是无法接受的。

现在考虑一下团体融贯论。回想一下，根据团体融贯论，如果一个观点可以与某一群体（具体是哪个群体要根据所涉及的融贯论版本来决定）整体的观点集合拼合在一起，那么这个观点就是真的。这种理论的主要问题是：

（1）没有考虑一个群体可能秉持错误观点的可能性；

（2）没有办法明确哪些人可以算作群体的一分子；

（3）对任何一个群体来说，都不存在一个由整个群体共同秉持的、具有一致性的观点集合。

接下来，让我们逐一对以上问题进行更深入的分析。

对于问题（1），假设萨拉被成功构陷了一项她并没有犯过的罪行。当我说萨拉被成功构陷时，我的意思是我们所讨论的某个群体（比如美国社会）的成员都已确信萨拉是有罪的。那么，很有可能，“萨拉有罪”可以与这个群体的其他观点拼合在一起，因此，根据团体融贯论，“萨拉有罪”的观点就是真的。但是，萨拉是被构陷的，我们希望能够说这个群体关于萨拉是否有罪的观点是错误的。然而，请注意，根据团体融贯论，这个群体没有错，“萨拉有罪”的观点是真的。事实上，秉持错误观点的是萨拉本人。根据团体融贯论，当萨拉认为“我没有犯罪”时，她的观点无法与整个群体的整体观点集合拼合在一起，因此是假的。换句话说，这样的真理论似乎让这个案子出现了倒退。总的来说，根据团体融贯论，“群体成员所共同秉持的一个观点居然是错误的”是很难让人理解的。这就是这类真理论所导致的一个奇怪后果。

对于问题（2），群体范围很难界定。以“西方科学家”这个群体的团体融贯论为例。根据这一真理论，一个观点是否为真，关键在于它是否可以与西方科学家所秉持的整体观点集合拼合在一起。然而，什么人可以算是西方科学家？想想吉姆，他是我的另一个朋友，也秉持着很不寻常的观点。吉姆发自内心地认为地球是宇宙中心。（事实上，我和我的大部分朋友都秉持相当主流的观点，不过我发现与这样几个观点总在主流之外的朋友保持联系也会很有裨益。）值得一提的是，吉姆同时是一位物理学家，在一家著名学术机构获得了物理学博士学位，也在主流物理学期刊上发表文章。尽管如此，他仍然对宇宙结构秉持着相当不寻常的观点。我们是否应该把吉姆算作“西方科学家”群体中的一员？对许多其他个体来说，同样的问题也会出现，而且通常来说，并不存在一个清晰的标准来确定许多个体应不应该算作所考察群体的成员。群体的边界模糊，要准确界定一个群体的成员，就算不是不可能的，至少也是很困难的。

回想一下，根据某个群体的融贯论，一个观点如果可以跟这个群体整体的观点集合拼合在一起，那么它就是真的。然而，如果群体本身都没有很好地界定，那么这个群体的真理论也就不能很好地界定。简言

之，一个群体的融贯论本身是否是一个固定成形的理论，答案并不那么清晰。

最后，对于问题（3），就算我们可以解决“哪些人应该算作所讨论的群体成员”的问题，但请注意，这个群体可能并没有一致的观点集合。群体中的一位成员可能秉持一种观点，而另一位成员则秉持完全相反的观点。这点在任何由人组成的群体中都很常见。然而，如果所讨论群体的成员并没有共同秉持的一致观点，那么这个群体就没有一个具有一致性的观点拼图。如果这个群体没有一个具有一致性的观点拼图，那么这个群体的融贯论同样也就不能很好地界定，因为团体融贯论的基础就是假设某个群体有一个具有一致性的观点拼图。

总结一下，个人主义融贯论似乎会陷入一种让人无法接受的相对主义。另一方面，团体融贯论似乎避免了相对主义的问题，但是同时又带来了几个新的、不容忽视的问题。所以，不管是真理融贯论还是真理符合论，对关于真理的核心问题，都无法提供让人完全满意的答案。

| 哲学思考：笛卡尔和我思 |

在结束本章之前，有一个更普遍的哲学问题值得我们花些时间来思考，我们在本章中讨论的一些话题也涉及了这个问题。在本章前面的部分中，我们看到，大多数人都认为关于知觉的一般观点，也就是知觉表征论，是对知觉工作机制的常识性描述，所以，如果这个理论是正确的，那么很重要的一点就是我们没有办法确定现实真正的样子。这是一个有深远影响的结论，有了这个结论，有人可能就会提出合理的疑问，“是否存在 我们可以完全确定的事物？”

对这个问题的探讨，最著名的可能就是勒内·笛卡尔（1596—1650）所进行的思考了。笛卡尔在许多文章中都对这个问题进行过思考，最广为人知的是他在《第一哲学沉思录》（通常被简称为《沉思录》）中的讨论。在《沉思录》中，笛卡尔最初的目标之一是找到一个绝对确定的、可以在其之上进行知识构建的基础。也就是说，笛卡尔想找到一个或几个自己感到可以完全确定的观点，然后，谨慎而富有逻辑地把其他全部知识在这个确定的基础之上构建出来。

在我们看来，笛卡尔所采用的论证方法可能有点像对确定性进行“石蕊测试”。具体来说，笛卡尔运用了一个情境，与我们前面讨论过的《全面回忆》情境非常类似。与在《全面回忆》情境中一样，笛卡尔关注的也是现实是否有可能与自己意识体验中的样子完全不同。笛卡尔假设存在一个非常强大的“邪恶骗子”，可以把思想和知觉直接植入自己的大脑。如果在存在这样一个邪恶骗子的情况下，还可以找到一个自己完全确定的观点，那么这个观点就将是笛卡尔想要的确定的观点，可以作为基础，在其之上进行构建。（笛卡尔的邪恶骗子所扮演的角色类似于图2-3中把想法和知觉植入萨拉大脑的机器，以及前面讨论过的电影《全面回忆》和《黑客帝国》中负责创造虚拟现实的设备。）

所以，笛卡尔寻找的是一个能经得起这个邪恶骗子测试的观点，也就是一个即使在存在邪恶骗子的情况下，也可以让他感到确定的观点。很明显，我们的大部分观点都经不起这样一个测试。举个例子，“我面前有一张书桌”的观点就经不起测试，因为，如果有这么一个邪恶骗子，它很容易就可以让我在面前没有书桌的情况下认为我看到了面前的书桌。甚至“我有一个身体”的观点也经不起测试，因为可能邪恶骗子正在往我没有实体的大脑中植入身体的图像。

那有没有观点经得起这个测试呢？也就是说，是否存在可以让我们感到完全确定的观点？笛卡尔认为他找到了至少一个这样的观点，就是他的名言“Cogito，ergo sum”，也就是“我思，故我在”。笛卡尔表示，这是一个可以让他感到完全确定的观点。

顺带提一下，严格来说，“我思，故我在”这个说法并没有出现在《沉思录》中，但确实在笛卡尔的其他著作中出现过。笛卡尔在《沉思录》中写的是，每当他想到“我是，我存在”这句话时，都觉得这句话一定是真的。换句话说，他至少作为一个思维主体存在的观点，是让笛卡尔可以完全确定的。请注意，笛卡尔并没有说他的身体必然存在（正如《全面回忆》情境里的机器和笛卡尔的邪恶骗子可以让我们误认为自己有身体）。事实上，让笛卡尔可以完全确定的是每当他思考“我是，我存在”的时候，他肯定至少作为一个思维主体存在。可以想象，在想到“我是，我存在”时，笛卡尔一定是在思考，这样才能想到这句话，这就是为什么他一定至少作为一个思维主体而存在。值得一提的是，圣奥古斯丁（354—430）也曾表达过相似的观点，不过现在这些观点一般都与笛卡尔联系在一起。

可以合理地认为笛卡尔的“我是，我存在”确实是一个我们可以完全确定的观点。所以，也许至少我们可以确定自己的存在。也许，与最初看起来的情况相反，至少存在一些我们可以完全确定的事物。

现在让我们回到笛卡尔的根本策略。回想一下，笛卡尔的想法是要找到某些确定的观点，并由这些观点谨慎推演出其他观点，从而构建出一个具有完全确定的基础的知识结构。现在，你大概可以猜出笛卡尔将面临的主要问题：这个基础太小了。我们可以完全确定的一个观点是，我们可以确定自身的存在（至少作为思维主体存在），也许我们也可以完全确定其他一些数量相对较少的观点（比如，我们可以确定某些进行了严格限制的观点，比方说，我面前似乎有一张书桌）。可以肯定地说，笛卡尔找到的可以完全确定的观点非常少（可能只有一个），并且后来被证明，这些观点所构成的基础太小了，人们无法在其上进行知识构建。

笛卡尔所进行的探索当然值得一试。虽然他的整体理论方案并没有取得成功，但值得注意的是，笛卡尔确实找到了至少一个我们可以完全确定的观点。

| 结语 |

尽管前面我们暂时偏离了正题，讨论了“是否存在我们可以确定的观点”，但这一章的主题还是真理。我们看到了，真理是一个让人迷惑的概念。正如在本章开篇所提到的，在过去2000多年里，人们一直都在对真理理论进行讨论，但并没能达成共识。本章中我们的目的就是粗略了解一下关于真理的主要理论，并解释一下为什么这些理论，以及通常围绕在真理周围的命题，都是让人难以理解而且存在诸多问题的。

本章开篇曾提到，一个看起来相当普遍的观点是：科学的目标是创造出真的理论，并用来描述相当直接、明确的事实。现在，必须明确的是，不能把科学本身，或者科学史和科学哲学，都简单地看作是体现“科学的目的是不断创造出更多真观点和真理论的集合”的过程。正如我们在本章中已经看到的，以及在第二部分中当我们开始更详尽地考察科学史时将会继续看到的，这些命题都比我们想象的要复杂得多。在接下来的一章中，我们将探讨另一个相关的，同样也很复杂的话题，这个话题将会涉及围绕“事实”这个概念的诸多命题。

第3章　经验事实和哲学性/概念性事实

在前一章中，我们看到，围绕真理的命题都比人们一般所认为的要复杂得多。在下面这个简短的章节里，我们将探讨与事实相关的话题。

毫无疑问，事实与科学，彼此之间紧密相连。不管你想从科学理论中得到什么，人们对科学理论都有一个共识，那就是它应该描述相关的事实。然而，“事实”这个概念比人们一般所认为的要复杂得多。在本章中，我们将对它的某些复杂性进行探讨。对于某些观点，我们认为显然是事实，并有相应的理由，那么，就让我们从对这些理由的初步观察来开始本章的讨论。

| 初步观察 |

我将详细探讨一个涉及铅笔、书桌和抽屉的例子。尽管一开始这个例子看起来可能非常无关紧要，但请保持耐心。通过这个例子我要说明的内容非常微妙，但是对你理解与科学史和科学哲学相关的命题非常重要。

考虑一个具体的情境，其中涉及的可能是我们所能想到的最明确的事实。比如，让我们假设你正坐在书桌前，把一支铅笔放在你面前的书桌上。“在你面前的书桌上有一支铅笔”就是关于事实你所能找到的一个明确范例。你可以看到并触摸这支铅笔，可以听到用铅笔敲桌子时发出的声音，甚至如果你愿意，你还可以尝一尝、闻一闻这支铅笔。对于“书桌上有一支铅笔”这个事实，你有直接、明确、由观察得来的证据。

这一类以观察为基础的事实，通常被称为经验事实。随后我们将会看到，哪些事实可以被算作是经验事实其实并不像乍看起来那样存在一个清晰的标准。同时，正如在前一章中我们探讨过的，我们并不能完全确定现实就是我们所感受到的样子。考虑到这个因素，你就不能完全确定你面前的书桌上有一支铅笔。不过，尽管如此，在这个例子里，因为你有最直接明确的、不容挑战的证据，所以如果有某个事实可以算作经验事实的话，那么“在你面前的书桌上有一支铅笔”一定就是那个事实。总的来说，这一类由直接明确的、经观察得来的证据支撑的事实就是经验事实最明显的例子。

现在，考虑另一种情况。假设你把另一支铅笔放在了你面前的书桌上。此时，你仍然可以看到、触摸到、听到，甚至闻到（如果你愿意）和尝到这两支铅笔。同样地，“在你面前的书桌上有两支铅笔”就是你能找到的一个明确的经验事实。

现在拿起两支铅笔中的一支，放到书桌的一个抽屉里，关上抽屉，这样你就看不到、摸不到，也感受不到这支铅笔了。你很有可能认为即使自己无法感受到，这支铅笔也仍然存在。也就是说，你认为“抽屉里有

一支铅笔”是一个事实。

然而，现在请思考一下为什么你会这么认为。请注意，你认为“抽屉里有一支铅笔”的原因，与认为“书桌上有一支铅笔”的原因不可能 是相同的。你关于书桌上铅笔的观点是基于直接的、经过观察得来的证据，而“抽屉里有一支铅笔”的观点不可能基于任何直接的、经过观察得来的证据。毕竟，你无法看到、摸到或观察到抽屉里的那支铅笔，所以关于这个观点，你不可能有直接的、经过观察得来的证据。那么，你为什么如此坚定地认为抽屉里有一支铅笔呢？

我猜测你之所以这样认为，是源于你看待这个世界的方式。我们大部分人无法想象物体在我们观察不到的时候就不再存在了。我们对自己所生活的这个世界有一个判断，那就是“组成这个世界的大部分物体是稳定的，即使在没有被观察到的时候，仍然保持存在”。对此，我们深信不疑，而这正是我们认为抽屉里有一支铅笔的根源。

所以，请注意，我们认为“书桌上有一支铅笔”和认为“抽屉里有一支铅笔”的原因有实质性区别。一个观点是以直接的、经过观察得来的证据为基础，而另一个则主要源于我们对自己所生活的世界所秉持的看法。尽管对“书桌上有一支铅笔”和“抽屉里有一支铅笔”的观点，我们深信不疑的程度可能是一样的，但我们秉持这两个观点的原因却有实质性差别。

这与科学史和科学哲学又有什么关系呢？正如前面提到过的，一个科学理论必须尊重相关事实。但在看待科学史的各个理论和这些理论需要尊重的事实时，从事后分析的角度，我们可以清楚地看到，某些事实——尽管人们认为是比较明确的经验事实，但其实更多的是依赖于人们对自己所处世界的一些哲学性/概念性判断。

有个例子或许有助于解释这一点。从古希腊时代起，到17世纪早期，人们普遍相信行星（以及天空中的其他物体）都在沿正圆轨道做匀速运动。举个例子，像火星这样的一颗行星，所有与之相关联的运动都被认为是沿正圆轨道进行的。同时，这些运动也被认为是速度均匀的，也就是速度始终保持不变，从来没有加速也没有减速。

与此形成对比的是，根据我们现有的理论（这些理论都有很有力的支撑），像火星这样的一颗行星是围绕太阳沿椭圆轨道（不是正圆形）运动的，且在轨道不同阶段速度不同。因此，上一段提到的两个观点，让我们暂且将它们称为“正圆事实”和“匀速运动事实”，它们都被证明是错误的。

“正圆事实”和“匀速运动事实”在我们这个时代听起来很不可思议。第一次了解到关于这些事实的观点时，典型的反应是想：“为什么会有人有这样的观点？”然而，在我们历史长河中的很长一段时间里，关于我们所生活的这个世界，“正圆事实”和“匀速运动事实”似乎是两个显而易见

的事实。

意识到这一点很重要。正如在第1章里提到过的，天空中的物体由元素以太组成，这个元素的基本性质就是沿正圆轨道进行匀速运动。因此，显而易见，太阳、恒星和行星的所有运动就肯定是沿正圆轨道进行的且速度均匀。对自身所处的宇宙，我们有一定认识，根据这一认识，“当铅笔被放进抽屉里，不在我们视线范围内时，它仍然保持存在”的观点对我们来说就是显而易见的事实，同理，对我们的前人来说，“天体沿正圆轨道做匀速运动”的观点也是显而易见的事实。

这一类事实，也就是人们深信不疑的一些观点，在很大程度上依赖于对我们所生活的世界的哲学性/概念性认识，我通常称之为“哲学性/概念性事实”。然而，在这里，我们仍需要倍加小心。

重点是，一边是经验事实，另一边是哲学性/概念性事实，它们并不是绝对界限分明的两个类别。换句话说，大部分观点都不能简单归为一类或另一类。相反，大多数观点的基础都既包括经验性的、通过观察得来的证据，也包括对我们所处世界更概括性的认识。让我们再次以前面讨论过的“正圆事实”和“匀速运动事实”为例子。尽管这两个观点与其他观点，比如关于元素以太性质的观点和“月上区域里都是完美事物”等，都有紧密关联，但这两个观点的基础中都有基于观察和经验的成分。再举个例子，让我们回到至少是有记录的人类历史之初，人们观察发现，恒星在天空中运动时，看起来似乎是沿正圆轨道做匀速运动。“被我们称为恒星的发光点看起来沿正圆轨道做匀速运动”的这个事实，在很大程度上是以经验性观察为基础的。所以，就算是“正圆事实”和“匀速运动事实”，现在看来也至少包含某些经验成分。

基于上面这些讨论，用连续统的概念可以更好地进行解释。在连续统的一端是最明确的经验事实，比如“书桌上有一支铅笔”，而在连续统的另一端是最清晰的哲学性/概念性事实，比如“正圆事实”和“匀速运动事实”的观点。

对于我们所秉持的大多数观点，我们把其中大部分都当作事实，这些事实在连续统里的位置都在最明确的经验事实和最明确的哲学性/概念性事实之间。也就是说，我们秉持这大多数观点的原因，一方面是有经验性的、经过观察得来的证据，另一方面是这些观点能与我们的整体观点拼图拼合在一起。

正如我们将会看到的，某些哲学性/概念性事实，包括“正圆事实”和“匀速运动事实”，事实上都在科学史和科学哲学中扮演了相当重要的角色。而在第三部分中，我们将探讨的是，西方世界大多数人从小到大一直认为某些观点是显而易见的经验事实，但是由于有了新近的一些发现，这些观点都被证明其实是错误的哲学性/概念性“事实”。

| 关于术语的一点说明 |

在上面的讨论中，你可能已经发现，在讨论那些我们现在已经确定不正确的观点时，我使用了“事实”这个词。举个例子，我把与“天体都以完全不变的均匀速度沿正圆轨道运动”相关的观点都归结为事实（尽管是哲学性/概念性“事实”）。实际上，我们一般不这么使用“事实”这个词，换句话说，当发现先前所秉持的一个观点是错误的时，我们就不再把它称为事实。考虑到这个情况，有必要简要讨论一下我对“事实”这个术语的使用。

我们只是缺少一个合适的术语来描述那些一开始在人们脑中根深蒂固（至少在某个特定的时代里）而且被认为有合理支撑，但后来被证明错误的观点，比如关于天体沿正圆轨道进行匀速运动的观点。要归纳描述它们，一开始在我脑中出现的两个备选术语分别是“假说”和“观点”，但这两个词都不是非常合适。

这些需要归纳描述的观点并不仅仅是假说。举个例子，就像我们在前面已经有所涉及，而且在第9章中还会更全面探讨的，我们的前人所秉持的“物体沿正圆轨道进行匀速运动”的观点，如果放在当时的时代背景下，是颇为合理的。它们后来被证明是错误的，但是如果把它们仅仅归纳为假说，又会产生误导。

为了说明这一点，让我们再考虑一下你所秉持的“把铅笔放进抽屉里以后，它仍然存在”的观点。这个观点只是一个假说吗？这样归纳这个观点似乎并不对。然而，正如前面我们讨论过的，我们关于铅笔持续存在的观点很大程度上依赖于我们对自己所居住的这个世界的整体认知。但是，对我们的前人来说，他们关于“天体都沿正圆轨道做匀速运动”的观点也同样在很大程度上来自于他们对自己所居住的宇宙的整体认知。所以，如果把我们关于铅笔持续存在的观点归纳为假说并不合适的话，那么把我们前人的观点归纳为假说也同样不那么合适了。

对“观点”这个术语，情况是相似的。把事实与观点区分开来就意味着两者之间存在相当清晰的区别，也就意味着事实是事实，而观点仅仅是观点。然而，两者之间实际上没有这样一个明确的区别，至少在一个人的生命过程中或者一个人自身的世界观中不会有这样的区别（在这里，可以再考虑一下“书桌上的铅笔和抽屉里的铅笔”的例子）。从一个人自己的世界观来看，那些他感到深信不疑而又有强有力证据支撑的观点似乎就是事实。

总之，这些可用的术语都不是非常合适。我认为最好的选择就是我在前面的讨论中所做的，也就是，在归纳那些人们深信不疑而又有强有力证据支撑的观点时，把其中一些更依赖于相当直接的、经过观察得来的证据的观点归为经验事实，而把那些与一个人整体世界观紧密相连的观点归为哲学性/概念性事实。即使这样划分后，仍然有一些人们深信不疑的观点后来被证明是错误的（对我们的前人和我们自己来说，都出现过这样的情况），但我仍然会把这些观点称为哲学性/概念性事实，以此来提醒我们，从相关的世界观来看，这些并不仅仅是简单的假设、

观点或意见。

| 结语 |

在结束本章之前，我们有必要花些时间对经验事实和哲学性/概念性事实做一下最后的思考。

我想再次强调一下之前提到的一点，不要把经验事实和哲学性/概念性事实看作两个泾渭分明的类别。大部分观点的基础都是既包括经验性证据，又包括对我们所居住的这个世界更一般性的认识。正如前面提到过的，用连续统来解释经验事实和哲学性/概念性事实之间的区别是一个比较好的方式，在连续统的一端是最明确的以经验为基础的观点（比如关于书桌上的铅笔的观点），而在另一端，则是更依赖于通常的哲学性/概念性观点的最清晰的范例（比如有关天体沿正圆轨道做匀速运动的观点）。

同时，小心不要把哲学性/概念性事实错误地认为是只有在陈旧而幼稚的思维方式中才会找到的那些事实。我们的前人关于正圆事实和匀速运动事实的观点后来被证明是错误的，但是这些观点并不幼稚。正圆事实和匀速运动事实可以与当时的整体观点体系拼合在一起，也就是可以与人们整体的观点拼图拼合在一起，这是哲学性/概念性事实典型的特点。这些观点被证明是错误的，但它们并不幼稚。

由此可推理得出，把一个观点称为哲学性/概念性事实想表达的并不是人们没有很好的理由来秉持这个观点。正如前面提到过的，正圆事实和匀速运动事实后来都被证明是错误的，但是当时的人们有合理的理由来相信这些事实。

同样地，不要错误地认为生活在现在这个有现代科学的时代，我们就已经逃脱了相信哲学性/概念性事实的陷阱。这样的事实在我们这个时代仍然存在，而且就像上面提到的，本书第三部分的主要焦点就将是探讨20世纪科学的发展，并找出那么一类事实——先前我们一直认为它们是明确的经验事实，但由于有了新近的一些科学发现，它们都被证明其实是哲学性/概念性事实。

同时，把一个事实称为哲学性/概念性事实并不意味着这个事实是不正确的。过去的很多哲学性/概念性事实后来确实被证明是错误的，毫无疑问，我们的某些哲学性/概念性事实将来也会被证明是错误的。但是，我们希望，它们大多数可以经得起时间的考验，可以被证明至少或多或少有些正确的部分。换句话说，经验事实与哲学性/概念性事实之间的区别并不取决于这些事实是否被证明是正确的。两者之间的区别在于，我们根据什么类型的原因来相信这些事实。

最后，值得一提的是，在日常生活中，我们一般不会特别区分经验事实和哲学性/概念性事实。当我们回过头再思考，特别是对过去的文

化进行思考时，要判断哪些观点更偏向于经验事实、哪些观点更偏向于哲学性/概念性事实，就变得相对容易了。然而，在我们所处的时代，事实只是对我们来说看起来像事实，它们看起来都差不多。只有经过仔细思考，有时在思考过程中还要克服极大的困难，然后我们才会发现自己所秉持的某些观点更偏向于以经验为基础，而另一些观点则更偏向于以哲学性/概念性观点为基础。

第4章　证实与不证实证据和推理

本章的主要目标是探讨围绕在科学中最常见的推理模式周围的命题。具体来说，我们将研究用来支撑科学理论的最常见的一种证据和推理模式。当然，我们也将会研究相反的那一面，也就是与可以证明理论有误的证据和推理模式相关的命题。正如在本书中不断提到的，我们将会看到这些命题实际上比它们乍看起来要复杂得多。

科学（和日常生活）里的发现、证据和推论通常都是相当复杂的。我们的策略是，首先聚焦于一些相对明确的证据和推论，从而说明即使是这些比较简单的证据和推论，也都出人意料地复杂。具体来说，我们将首先研究在科学领域常见的两种证据和逻辑推理模式（同样地，这些证据和逻辑推理类型在日常生活中也很常见）。为方便起见，我将把这两种推理模式分别称为证实推理 和不证实推理 。首先，我们将简要了解每一个类型，然后探讨其中的一些微妙之处。

| 证实推理 |

大约100年前，阿尔伯特·爱因斯坦提出了相对论。这是一个颇有争议的理论，它在某些方面与已被人们广泛接受的其他理论有所冲突。值得注意的是，运用相对论可以得出非同寻常的预言。这里说这些预言非同寻常，是因为其他理论无法给出相同的预言。举个例子，爱因斯坦的理论预言大型物体，比如太阳，其引力效应将会使恒星光线弯曲。在日全食的情况下，观测到恒星光线弯曲是完全有可能的。因此，预计将于1919年5月发生的日全食为验证这一预言创造了一个机会。结果证明，这个预言是正确的，同时这个预言也被当作证据，来支撑爱因斯坦相对论。换句话说，爱因斯坦的理论做出了正确的预言，而且更值得注意的是其他竞争理论并没有做出这样的预言，这个情况就被当作了证据，来证明这个理论是正确的。

请注意，对科学来说，这样的推理模式并不是特例。我们一直都在运用这样的推理模式。一般来说，当我们以某个特定理论为基础得出某些预言，而这些预言后来又被证明是正确的，这些预言就至少提供了某些证据，来证明这个特定理论的正确性。如果我们用字母T代表某个理论，字母O代表以理论T为基础得出的一个或几个预言，那么，我们可以用下面这个示意图来表现这个推理过程：

如果T，那么得出O

O（O是正确的）

所以　T（非常有可能是正确的）

值得一提的是，前面提到的爱因斯坦的例子和如上这个示意图，都

是对证实推理模式相当简化的描述。重申一下，在这里，我们所感兴趣的只是对这一推理模式的简要了解。接下来，我们将简要了解一下不证实推理模式，然后研究一下与这个推理模式相关的一些因素，正是这些因素让这个推理模式比其乍看起来要复杂得多。

| 不证实推理 |

要理解不证实推理模式，通过一个具体的例子仍然是最简单的方法。在20世纪80年代末期，两位颇有威望的科学家声称发现了一种可以实现低温核聚变的方式（也就是所谓的冷聚变）。这是一个激动人心的发现，但同时也颇具争议，因为普遍的共识是核聚变要求的是超高温。假设我们就把这两位科学家的主张（也就是聚变可能在低温条件下发生，以及他们已经掌握了如何实现这种聚变的关键点）称为“冷聚变理论”。

通常在这种情况下，以冷聚变理论为基础可以得出某些预言。举个例子，如果冷聚变理论是正确的，那么在冷聚变过程中将会有数量巨大的中子被释放出来。然而，实际上并没有探测到这样大量的中子释放，这也被当作证据，证明冷聚变理论不成立。同样地，这个推理模式也并不特殊。通常，当我们根据某个特定理论提出预言，而这些预言最后被证明是不正确的，我们就会将此作为证明这一理论不正确的证据。让我们继续用字母T代表某个理论，用字母O代表一个或几个以理论T为基础做出的预言，我们可以用下面的示意图来表现这个推理过程：

如果T，那么得出O

O是不正确的

所以　T是不正确的

同样需要强调的是，这个推理示意图是一个高度简化的描述，可以当作是最接近不证实推理的一个模式。现在，我们将探讨某些与证实和不证实推理模式相关的复杂因素，第一个因素是归纳推理和演绎推理的区别。

| 归纳推理和演绎推理 |

证实推理是一种归纳推理，而不证实推理则是一种演绎推理。证实推理的归纳推理性质和不证实推理的演绎推理性质都具有一些重要影响。要理解这些影响，我们首先需要明确归纳推理和演绎推理之间的不同之处。

你可能之前就已经听说过“归纳推理是从特殊到一般，而演绎推理则是从一般到特殊”。在某些情况下，归纳推理和演绎推理确实是像这样，但总的来说，这个说法并不准确，所以并不是概括归纳推理和演绎推理

特点的好方法。

要概括归纳推理和演绎推理的特点，有一个更简明、准确，也更精辟的方法。下面我们举例说明，这个例子可以认为是典型的归纳推理：

美国一所大学的男子篮球队，从来没有赢得过美国大学男子篮球联赛冠军。事实上，在仅有的几次参赛经历中，这支篮球队从来没有进入过第二轮。今年，这支队伍的水平与以前相比并没有多大变化，大学男子篮球联赛赛制也没有发生重大改变。考虑到这些因素，这支男子篮球队基本不可能赢得今年的联赛冠军。

上面这个例子是一个令人信服的归纳推理论证过程。考虑到这个论证过程所列出的前提条件，其所得出的结论是非常有可能的。然而，即使所有前提条件和证据都是正确的，也仍然有可能得出错误结论。这正是归纳推理的标志性特点。不管可能性有多低，这支男子篮球队赢得美国大学男子篮球联赛冠军的可能性仍然是存在的。这就是归纳推理的特点：在一个好的归纳推理过程中，即使所有前提条件都是真的，所得出的结论也有可能是错的。

相比之下，在一个好的演绎推理论证过程中，真的前提条件就保证了真的结论。也就是说，在一个好的演绎推理论证过程中，如果所有前提条件都是真的，那么其所得出的结论就一定是真的。请思考一下下面这个借鉴了电影《谍海军魂》（No Way Out）的例子：

那天晚上在琳达房间的男人杀了琳达。不管是谁杀了琳达，这个人都被称为尤利。军官法瑞尔是那天晚上在琳达房间里的男人。所以，军官法瑞尔就是尤利。

这个论证过程与前面列举的归纳推理论证过程之间的不同点非常有趣。具体来说，如果这个论证过程的前提条件是真的，那么这就保证了这个论证过程的结论是真的。这就是演绎推理论证过程的特点：在一个好的演绎推理过程中，真的前提条件就保证了真的结论。

了解了这些，让我们回到关于证实推理和不证实推理的讨论。你应该还记得证实推理模式是一种归纳推理。正因如此，有时证实推理模式并不能保证结论的正确性。也就是说，证实推理所能达到的最好程度就是为某个理论提供支撑，但是不管存在多少被证实了的预言，仍然存在这个理论不正确的可能性，这完全是由证实推理模式的归纳推理性质造成的。

有时，你会听到关于某些科学理论永远都不可能被证明（从严格意义上证明）的说法，其中部分原因就是证实推理模式的归纳推理性质。大多数科学理论从很大程度上说都是由归纳证据所支撑的。正因如此，不管存在多少可以证实某个理论的证据，这个理论也仍然有可能被证明是错误的，这完全是由证实推理模式的归纳推理性质决定的。在正确性方面，科学领域的理论都不可避免地面临质疑，但这并不是这些理论的

小瑕疵，也不是重大缺陷。相反，这种情况无非是两方面因素造成的，一方面是证实推理模式是广泛用于支撑科学理论的推理模式，另一方面是证实推理模式是一种归纳推理。

同样值得注意的是，实际的理论所涉及的因素和推理，在复杂性和相互交织程度上可能比我们截至目前的讨论中所谈到的要高得多。让我们用一个例子来说明这一点，请再思考一下爱因斯坦相对论对恒星光线弯曲的预言。这看起来是一个相当简单的预言和观察结论。人们都认可爱因斯坦的理论预言了恒星光线的弯曲，以及日全食将为观察这样的光线弯曲提供一个机会。所以，下次日全食的时候，实际去观测一下，看看恒星光线是否是弯曲的。实际观测可能并不那么简单，但这听起来确实是相当直接明确的方法。

然而事实上，这一点都不直接明确。举个例子：为了预测恒星光线上出现弯折的点的位置，需要进行一系列计算，为了进行这些计算，就需要运用大量简化了的假设，而这些假设严格说来都是不正确的。在1919年5月的实际观测中，为了将所需进行的计算控制在可操作的范围内，太阳被当作了一个正球体，不进行自转，且不受任何外力影响（比如地球、月球和其他行星的引力作用）。当然，太阳实际上并不是一个正球体，它本身有自转，而且会受到外力影响。总之，每个人都知道这些假设是错误的，但每个人同时也知道如果不用这些简化了的假设，就不可能进行所需的计算。

大多数（不是全部，但确实是大部分）熟悉1919年恒星光线弯曲观测的人，都同意这些简化了的假设不会改变观测整体结果，也就是说，这次观测结果为爱因斯坦的理论提供了证实证据。尽管如此，在这里我想得出的结论是：实际用于证实科学理论的证据所涉及的因素往往比人们通常所认识到的要复杂得多。

以上所说的并不是一个特例。通常，要看一个预言能否被观察得到，需涉及多个层次的重要理论和数据。总之，实际用于证实科学理论的证据通常非常复杂。所以，不仅证实推理模式的归纳推理性质意味着这种推理模式无法证明（这里指的是最严格意义上的“证明”）某个理论是正确的，而且这一推理模式中的实际证据和推理过程往往相互交织、非常复杂，从而使证实推理模式的证据通常也远不像它们乍看起来那样直接明确。

如果不可能证明（同样从“证明”这个词最严格的意义上来说）某个理论是正确的，那么是不是至少有可能证明某些理论是不正确的？乍看之下，答案似乎是肯定的。毕竟，不证实推理模式是一种演绎推理，而根据前面提到过的，在一个好的演绎推理过程中，前提条件保证结论。所以，乍看之下，你会认为不证实推理模式可以用于证明某个理论是不正确的。然而，事实是第一印象常会产生误导。

思考下面这个例子，我将用这个例子来说明为什么用不证实推理模

式来证明某个理论不正确并不像看起来那么直接明确。只要你参加过某种实验室课程（比如化学或生物），你可能就有过与下面这个例子相似的经历。假设在化学实验室里，教授给了你一烧杯的乙醇，让你找出乙醇的沸点。接下来，假设（当然，在教授看不见的时候）你偷偷瞄了一眼教学参考书，发现乙醇的沸点是78.5摄氏度。现在，你开始做实验，相信实验结果会表明沸点为78.5摄氏度。然而不幸的是，这个样本似乎没有在78.5摄氏度的时候沸腾。这时你怎么办？

看起来，不证实推理模式似乎应该适用于这个例子。前面提到过不证实推理模式的推理公式，根据这个公式，你会进行以下推理：

如果烧杯里的样本是乙醇，那么我应该观察到样本在达到78.5摄氏度时沸腾。

我没有观察到样本在达到78.5摄氏度时沸腾。

所以　烧杯里的样本就不是乙醇。

然而，实际上，这时你是否会得出“教授搞错了”以及“烧杯里面不是乙醇”的结论？很有可能不会。相反，你很有可能会考虑可以解释“为什么实验结果没有显示沸点为78.5摄氏度”的其他因素。比如，很有可能是温度计坏了，或者实验使用的玻璃器皿不够干净，或者烧杯中的样本受到了污染，或者实验室里的气压不正常，又或者任意一个其他因素不正常。简言之，仅仅以你所掌握的少量证据为基础就得出结论将是一个很不明智的做法。

下面这个叙述更准确地表现了在这个例子中你的推理过程：

如果烧杯中的样本是乙醇，同时温度计正常工作，我使用的玻璃器皿很干净，样本没有受到污染，实验室里的气压正常，以及任意一个其他因素都是正常的，那么我应该观察到样本在78.5摄氏度时沸腾。

我没有观察到样本在达到78.5摄氏度时沸腾。

所以　烧杯里的样本不是乙醇，或者我的温度计没有正常工作，或者我使用的玻璃器皿不干净，或者样本受到了污染，或者实验室里的气压不正常，又或者任意一个其他因素不正常。

这里的关键点是，前面示意图所表示的不证实推理模式过于简化。我们将会看到，下面这个示意图可以更准确地表现不证实推理模式：

如果T，且A_1，A_2，A_3，…，A_n，那么O

O是不正确的

所以　T是不正确的，或者A_1是不正确的，或者A_2是不正确的，或

者A_3是不正确的……或者A_n是不正确的。

这是一个更准确的示意图，接下来当我谈到不证实推理模式时，我脑海中出现的就将会是这个示意图。

在上面的这个示意图中，A_1、A_2等所代表的就是人们通常所说的辅助假设。辅助假设很关键，但通常是不证实推理模式中隐含的部分。辅助假设很关键只是因为如果没有它们，我们就不能冀望得到想要研究的观察结果。让我们换个稍有些不同的说法，从某种程度上说，我们需要通过辅助假设来从示意图中的“如果”的部分，得出“那么”的部分。也就是说，如果 我们有某个理论，又有某个情况，而且所有隐含的辅助假设都正确，那么 我们就可以冀望于观察到某种结果。

正如烧杯里的乙醇这个例子所表明的，在任何情况下，如果用来做出某个预言的理论被证明是不正确的，那么总有一种可能性（实际上，在很多实例中，这个可能性非常大），那就是这个理论本身是正确的，只是一个或多个辅助假设是错误的。

在冷聚变理论的例子里也同样出现了关于辅助假设的这种情况（现在这个情况仍然存在）。举例来说，从冷聚变过程中确实应该能观察到大量中子释放的现象，但实际上并没有观察到。然而，之所以预期可观察到大量中子释放现象，主要在于一个辅助假设，也就是“冷聚变所涉及的过程或多或少与常规（热）聚变所涉及的过程相似”。冷聚变理论的两位提出者所持的观点是继续坚持冷聚变理论，但是摒弃了“冷聚变与常规聚变相似”的辅助假设。是的，他们确实是这么认为的。

在冷聚变理论的例子里，后来证明这一理论不正确的证据最终达到了一定数量，因而现在已经几乎没有人继续接受冷聚变理论了（尽管如此，值得注意的是，仍然有一部分人继续坚持冷聚变理论，而摒弃了原有的辅助假设）。然而，通常我们所面临的问题是，在存在不证实推理证据时，在什么情况下放弃整个理论更合理，而在什么情况下摒弃一个或几个辅助假设更合理。这个问题非常难以回答，而且重点是，没有什么秘诀可以帮助我们来作答。

总之，现在我们得到了关于不证实推理模式及不证实推理证据最重要的两点。第一，在面对能证明一个理论不正确的证据时，可以坚持这一理论，同时摒弃一个或几个辅助假设。这不仅仅是个观点，有时确实是更合理的做法。第二，对于“在什么情况下放弃整个理论更合理，而在什么情况下摒弃一个或几个辅助假设更合理”的问题，没有一刀切的标准答案。

| 结语 |

总结一下本章的主要内容：证实推理模式和不证实推理模式是科学领域内外两个常见的推理模式。一方面，证实推理模式由于是一种归纳

推理模式，因而无法在证明一个理论正确的同时保证这一正确性不受质疑。因此，对于一个科学理论来说，不管有多少可以证明其正确性的证据，这个理论是错误的这种可能性始终存在。除此之外，在实际的例子里，归纳得出的证据和归纳推理通常非常复杂且相互交织。证实推理模式及证据往往远没有它们乍看起来那么直接明确。

另一方面，不证实推理模式是一种演绎推理。然而实际上，由不证实推理模式得出的证据往往同样很复杂。具体来说，通常不证实推理模式涉及大量辅助假设。因此，通过不证实推理模式得出的证据只能表明要么是所使用的理论不正确，要么就是一个或几个辅助假设不正确（经常出现的是后者）。因此，不证实推理模式及证据同样也远没有它们乍看起来那么直接明确。

每天，在科学领域内外，人们都在使用证实推理和不证实推理。在后面的章节里我们将会看到，前面所提到的几点在科学史上都扮演了重要角色。所以，总结一下，同时重申一下本章的要点，科学领域里（在日常生活中同样）的证据和推理都出人意料地复杂。在下一章中，我们将探讨两个与我们前面讨论过的话题紧密相连的命题，也就是“迪昂-奎因论点”和围绕在科学研究方法周围的命题。

第5章　奎因-迪昂论点和对科学方法的意义

在前面几章中，我们探讨了世界观、真理、事实和推理，以及一系列与这些话题相关联的命题。在本章中我们将看到，这些命题中有许多都与通常被称为“奎因-迪昂论点”（或者有时被称为迪昂-奎因论点，因为可以反映出迪昂是先于奎因的）的命题有密切联系。奎因-迪昂论点是现代科学哲学中较为人熟知的观点之一，仅凭这一个原因，就值得我们进行研究。然而，除此之外，我们将有机会更好地理解前面几章中讨论过的命题是如何相互交织的，而且对奎因-迪昂论点的讨论有助于为后面章节的讨论打下基础。在后面的章节中，我们将通过科学史上的实例看到这些相互交织的命题是如何发挥作用的。

另外值得注意的一点是，这些命题对有关科学方法的不同观点所产生的影响。在本章结尾处，我们将思考关于科学方法的多种意见。关于科学方法的这段讨论将完成两个任务：第一，从历史的角度，让我们看到某些关于进行科学研究的适当方法的观点，比如，我们将会看到亚里士多德进行科学研究的方法，与现在通常被认为适当的方法之间存在怎样巨大的差异；第二，让我们有机会看到围绕在科学方法论周围的某些命题，而这些都有助于我们在后续章节中对科学史上具体实例里使用的方法（通常都是让我们大吃一惊的方法）进行讨论。

| 奎因-迪昂论点 |

迪昂论点是科学哲学中非常著名的一个观点，涉及一系列相互交织又颇有争议的命题。首先，简要介绍一下其中的主要人物：皮埃尔·迪昂（1861—1916）是一位威望颇高的法国哲学家，他主要的研究兴趣是一些非常宽泛的问题，包括关于对科学假设和理论进行验证的问题；威拉德·奎因（1908—2000）是20世纪最有影响力的哲学家之一，他毕生的研究兴趣都在与科学哲学相关的命题上。

在这一部分中，我们将研究与奎因-迪昂论点相关的三个关键点，也就是（借用奎因的一个说法）我们的观点并不是单独而是作为整体来面对“经验的裁判”；通常不存在可以用来判断两个竞争理论中哪一个正确的“关键性实验”；非充分决定性的概念，也就是现有可用的数据，通常不足以让人们找到唯一正确的理论。

观点集合和经验的裁判

回忆一下我们在前一章中讨论过的，当面对不证实证据时，其中几乎总会涉及一些关键性（但通常都是隐含的）辅助假设。正如我们在前一章中看到的，我们总是有可能摒弃辅助假设而不是摒弃整个理论的主要观点。

考虑到辅助假设所扮演的角色，当我们进行一个实验时，比如验证某个特定假设的实验，我们并不是真的只对单个假设进行验证。事实上，重点是，这个实验更像是验证主要假设以及周围所伴随的辅助假设。因此，我们通常所验证的其实是一个观点集合 。在面对不证实证据的时候，可以摒弃或修改集合中的任意一个观点。这就是奎因-迪昂论点的关键要素之一，也就是说，其关键点是一个假设通常不能孤立地接受验证。相反，被验证的都是一系列观点，如果实验结果与预期不同，那么这一系列观点中的任意一个都可以被摒弃或修改。我们在前面提到过奎因的说法，而这就是奎因说法背后的关键点，也就是：我们的观点并不是单独而是作为整体来面对经验的裁判。

这里对观点集合的强调让人想起我们在第1章中对世界观的讨论。确实，奎因-迪昂论点的这一方面与世界观的概念紧密相连。要理解这一点，回忆一下我们在第1章中对相互联结的系统所进行的讨论。具体来说，我们通过拼图这个类比探讨了观点集合的概念。奎因倾向于将这样的观点集合看作“观点网络”，也就是用蜘蛛网来做类比。在一个蜘蛛网中，边缘区域的变化对中心区域只能造成微不足道的影响。同样地，在一个观点网络中，如果对位于边缘位置的观点进行修改，对处于中心位置的观点并不会造成太大改变（这些边缘位置的观点就是我们在第1章中所讨论的外围观点）。相比之下，中心区域的变化将给一整个网络带来改变，与此相似，如果对处于网络中心位置的观点（核心观点）进行修改，那么整个观点网络都会发生变化。

我们在前面提到过，根据奎因-迪昂论点，对一个假设的验证通常并不只是对单独一个假设的验证，而是对一组观点或者一个观点集合进行验证。那么，这里我们所说的一组观点究竟包括多少观点呢？举个例子来说明，假如我们设计一个实验来验证一个假设，那么我们真正验证的观点集合究竟包括多少观点呢？是我们整个观点集合（或者说是整个观点拼图）中相对较小的一个观点子集合吗？或者，更激进一点，我们所做的每个实验和测试是不是从某种意义上来说其实都是对我们自己整体的观点集合（或者说是观点网络，或世界观）所进行的验证？

对这些问题，并不存在得到一致认可的答案。奎因多次为更激进的观点争辩，他认为一个人的整个观点网络，也就是我们整个内部相互联结的观点集合，作为一个整体来面对经验的裁判。如果面对与我们所秉持观点相悖的证据，那么任何观点，包括核心观点，都不可能免受修改。当然，我们通常更愿意修改比较靠近外围的观点，然而奎因的观点是，任何观点原则上都会被修改。验证是针对整个观点集合进行的。而迪昂在这个问题上的观点则更为保守。他认为，验证可能涉及一个观点数量众多的观点集合，但通常这个验证所针对的并不是我们整体的观点集合，或我们整体的世界观。

尽管奎因和迪昂的观点在细节上有些不同，但他们有一个大致共识，也就是验证通常不是针对一个孤立的假设，相反，这样的验证通常是针对由一定数量的观点所组成的观点集合。而且，正如前面提到过

的，这个观点通常被认为是奎因-迪昂论点的一个关键组成部分。

关键实验

奎因-迪昂论点的另一个关键点与我们刚刚所讨论的内容紧密相连，与科学中的“关键实验”这个概念有关。关键实验的想法至少可以追溯到弗朗西斯·培根（1561—1626）。这个想法是，当面对两个相互竞争的理论时，有可能设计出一个实验，关于这个实验的结果，两个理论的预言是相互矛盾的。理想的情况是，由于两个理论的预言相互矛盾，这样一个实验至少可以证明其中一个理论是错误的。在前一章中，我们讨论了与证实推理有关的一些命题（主要是指证实证据可以很好地支持一个理论，但不能明确证明这个理论是正确的），正是由于这些命题，这样一个实验无法证明做出正确预言的理论一定是正确的。尽管如此，一个关键点是，就算关键实验不能证明相互竞争的两个理论中有一个一定正确，但至少可以排除另一个理论。

然而，如果验证通常都是针对观点集合的，而且如果面对不证实证据时总可以摒弃辅助假设而不是摒弃整个理论，那么似乎关键实验通常是不可能的。原因很明确：关键实验的目标是证明两个竞争理论中至少有一个做出的是错误预言，在任何一个这样的实验中，做出错误预言的理论都仍然可以保留，所要摒弃的只是某个辅助假设。同样地，正如我们在前一章中提到过的，摒弃某个辅助假设而不是摒弃整个理论通常都是非常合理的。

值得一提的是，这种针对关键实验可能性的怀疑论可以从多种角度来解读，其中有些更强有力，也更具争议。几乎毋庸置疑的是，在某些情况下，关于实验结果，尽管两个相互竞争的理论做出的预言相互矛盾，但这个实验结果可以与两个相互矛盾的理论都分别吻合。举个例子，在早期冷聚变实验中没有观察到大量中子，这个结果毫无疑问与通常关于聚变的理论相吻合，然而，正如我们在前一章中所看到的，如果摒弃某个相关的辅助假设，这个结果同样可以与冷聚变理论相吻合。如果我们从一个力度相对较弱的角度来理解这个针对关键实验的奎因-迪昂怀疑论，也就是仅认为相互竞争的理论通常都分别可以与所谓的关键实验结果相吻合，那么这个怀疑论就相当无可争议了。科学史上有无数实例（上面提到的冷聚变的例子就是其中一个）支持这个力度相对较弱的怀疑论表述。

对奎因-迪昂论点的这个方面还存在另一种解读，那就是认为这个论点的这个部分所表达的观点是，*任何* 实验结果，无论是什么，都可以与 *任意* 一个理论相吻合，这个表述更强有力，也更具争议。要在科学史上找到一个明确的例子来支持这个更强有力的表述，并不容易。然而，奎因在某些场合确实是这么表述的，而这个更强有力的表述远没有得到广泛认可，这也是在情理之中的。总结一下这个简短的小节：尽管存在一个大致共识，也就是奎因-迪昂论点的主要内容涉及针对关键实验概念的某种怀疑论，但是对于这个怀疑论应该解读到何种程度，却远没有形成

共识。

理论的不充分确定性

科学哲学中另一个经常被讨论的命题之一，通常被称为理论的“不充分确定性”。回忆一下我们在前面的讨论，也就是在面对不证实证据时，理论通常可以被保留，同时，想要设计一个关键实验来甄别相互竞争的理论，通常就算不是不可能实现，也是非常困难的。这里我们还要考虑前一章中关于证实证据的讨论，特别是我们提到，由于证实证据具有归纳推理的性质，这些证据最多可以支持某个理论，但绝不可能明确证明某个理论是正确的。

把所有这些因素放在一起，我们就得到了一个观点，那就是现有数据，包括所有相关实验的结果，都绝不可能完全确定某个理论是正确的。同时，所有数据和实验结果也绝不可能明确证明任何相互竞争的理论是不正确的。简言之，很多相互竞争的理论通常都可以与所有现有证据相吻合。对此，通常的描述是，根据现有数据，理论都是不充分确定的。

值得一提的是，与前面讨论过的奎因-迪昂论点其他几个方面情况类似，不充分确定性的概念也可以从多个角度来解读，其中有些解读更强有力，也更具争议。毫无疑问，有时现有数据并不是仅仅支撑两个或多个相互竞争的理论中的一个。再用冷聚变理论做例子，在20世纪80年代后期，当时现有数据并没有明确支撑冷聚变理论或已存在的热聚变理论（也就是认为聚变通常需要超高温的观点）。冷聚变理论和热聚变理论都可以与当时现有数据相吻合。从这个相对温和的角度来理解，毫无疑问，理论都是不充分确定的。

而从另一个极端角度出发，与前面的温和角度不同，常常会出现涉及对更激进的不充分确定性概念的讨论。根据这种更激进的不充分确定性概念，科学理论和科学知识都是“社会构建”，或多或少都是由相关社区所发明的。根据这个观点，相对于物质世界，科学理论与社会条件之间的联系更为紧密，而且反映的也是社会条件，而不是物质世界。就像不存在唯一一种得到确认且客观正确的餐桌礼仪一样，根据这个更激进且更具争议的不充分确定性概念，也不存在唯一得到确认且客观正确的科学理论。在这个概念中，餐桌礼仪和科学理论都是社会的反映，从“正确”这个词任何深层或客观的意义上来说，不能说一个理论是独一无二“正确”的理论。

简言之，尽管不充分确定性已被广泛认可为奎因-迪昂论点的一个主要内容，但对不充分确定性概念可以有多种解读。正如前面所讨论过的，这些解读中，有些更强有力且更具争议。

总之，让我们再思考一下与奎因-迪昂论点相关的关键命题，也就是理论的不充分确定性、“假设通常不是孤立地接受验证”的观点，以及“关

键实验通常不可能实现”的概念。所有这些命题，如果从较温和的角度来解读，都是相当不具争议的。然而，更具争议的是，这些命题可以解读到多么宽泛的程度，以及这些宽泛的解读是否可以得到实际事例的支持。在第二部分中，当我们讨论历史案例时，比如讨论涉及地心说和日心说之争的案例时，请关注这一类命题。我们将看到，这样的争论所涉及的命题数量出人意料地多，其中包括奎因-迪昂论点的这些核心命题。

对科学方法的意义

正如前面提到过的，我们一直在讨论的这一类命题对关于科学方法的看法会产生一些很有意思的影响。在结束本章之前，我们将简要探讨几个关于适当的科学研究方法的主张。这将让我们有机会看到，在亚里士多德世界观中，科学方法是如何被看待的（特别要注意的是这些看法与今天通常对科学方法的看法相比有多大差异）。这些讨论将有助于我们为第二部分中对科学史上具体实例的讨论做好准备。

在你上学的某个阶段，你可能学习了人们通常所说的“科学方法”。尽管关于这种方法的确切构成，不同的书、不同的流派在表述上多少都有些不同，但总的来说，通常认为这个方法包括：①收集相关事实；②收集解释这些事实的假设；③验证假设，验证的方法通常是进行可以证实或不证实（使用类似前面讨论过的证实和不证实推理的模式）这个假设的实验。

在前面几章中，我们讨论了证实和不证实推理、事实的性质，在本章前面的小节里，我们又研究了围绕奎因-迪昂论点的几个命题，基于这些讨论，我们有理由怀疑上面概括出的方法是否真的像其通常被描绘的那样直接明确。接下来，我们将探讨几个科学研究方法，并探讨围绕这些方法的一些命题。我们肯定不会囊括每个科学方法，但是探讨数量将足够多，从而让我们很好地理解某些因素，并认识到因为这些因素，只要尝试给出一个单一、确定的科学研究方法，这个目标就会变得非常复杂。让我们从亚里士多德在这方面的几个观点开始讨论。

亚里士多德的公理化方法

在亚里士多德世界观中，科学通常被认为是以提供确定的知识为目标的。也就是说，人们普遍认为科学知识必须为真，而且必定为真，而不仅仅是有可能为真。如果要问我们如何才能得到这样必定为真的知识，似乎只有一种可能的方法，那就是使用基于必定为真的基本原则的演绎推理模式。如果可以找到这样必定为真的基本原则，而且如果使用的是演绎推理模式，那么所得到的结论（也就是科学知识）将“继承”这些基本原则的确定性，我们也就将得到必定为真的科学知识。

这样的方法通常被称为公理化方法，也就是说，这些方法是基于从某个意义上说是确定的或必定为真的基本原则的演绎推理。亚里士多德是这种方法的支持者，而且在亚里士多德世界观占主导地位的时代，用

亚里士多德的方法来获得科学知识，通常被认为是正确的方法。因此，对亚里士多德的方法进行探讨将让我们了解在西方历史大部分时间内占主导地位的科学方法，同时也会让我们很好地理解在探求必定为真的科学知识时，都会面临的基础性问题。

亚里士多德把逻辑当作可以在研究中使用的一个工具，包括（但不仅限于）科学研究。事实上，对亚里士多德来说，给出一个科学解释从本质上来说其实是给出某种符合逻辑的论证过程。我们通常不认为科学解释和符合逻辑的论证过程这么相似，但实际上两者是紧密相连的。要说明这一点，思考一下下面这个例子。（选择这个例子是为了便于解释，由于这个例子使用了在亚里士多德之后的时代才发现的几个概念，因此这并不是亚里士多德本人会给出的解释。）

假设你对铜导电很感兴趣，有人向你解释了铜包含自由电子，而包含自由电子的物体可以导电，这就是为什么铜可以导电。请注意这个解释与下面的论证过程是如何紧密相连的：

所有的铜都包含自由电子。

所有包含自由电子的物体都可以导电。

所以　所有的铜都可以导电。

事实上，抛开表达形式不谈，前一段里的解释与上面这个论证过程几乎没有差异。

前面给出的论证过程包含两个前提和一个结论，像这样的论证过程被称为三段论。对亚里士多德来说，一个合理的科学解释都应包括实证，所谓实证其实就是一个三段论的链条，其中最后一个三段论的结论就是所要解释的内容。（我必须指出的是，严格来说，亚里士多德三段论是包含两个前提的论证过程，且整个论证过程符合某些对所涉及的描述在形式和排列上的要求。同样地，严格来说，一个实证所要满足的条件要比刚刚提到的例子更多。然而，我们在这里并不关心这些额外的条件。）

正如前面提到的，对亚里士多德来说，科学知识必须是确定的知识，或者换一种说法，三段论链条中最后一个的结论必须是必定为真的。请注意这个概念与现代科学知识的概念有显著不同。现在，科学的目的通常被认为是提供可能正确的理论，但是我们并不期待科学能保证这些理论是正确的（我们认为这是不可能的）。然而，对亚里士多德来说，科学并非如此，在17世纪前，对科学知识的普遍看法也不是这样的。科学知识必须是确定的知识，而确定性在很大程度上是因为它们是通过演绎推理得来的。

但是，这样的演绎推理如何能保证结论并不仅仅是真的，而且是必定为真呢？正如前面提到的，只有一个方法，那就是使用本身必定为真

的前提，这样结论就可以说是继承了前提的确定性。

然而，这就带来了一个问题，那就是：前提的必然性从何而来？一个答案是，可以从其他本身必然为真的前提得到这样的前提，方法就是使用三段论链条里其他处在更高位置的三段论。确实，这就是亚里士多德设想中得到一个完整的科学解释的过程。也就是说，在三段论链条中，最后一个三段论的结论必定为真，这是因为这个结论是通过必定为真的前提得到的。这些前提通常在此之前本身就是一个三段论链条中的结论，而这个链条中的三段论其前提都是必然为真的。

当然，三段论链条不可能无休止地延长，所以在某个点上肯定有某些前提是必定为真的，但本身并不是通过位置更高的三段论链条得到的。这些起始点，也就是这些本身必定为真的前提，通常被称为第一原则 。第一原则被当作是关于这个世界基本的、必定为真的事实。但是，人们怎样可以找到第一原则，特别是，人们怎样可以确定第一原则是必定为真的？我们用几何学做个类比将会有助于我们寻找答案。

思考一下欧几里得几何学中的一条公理，那就是在一个平面内，过给定直线外一点，可作且只可作一条直线与此直线平行。图5-1表示了这条公理的内容。在图中，这幅图所在的书页代表的就是平面，上面的实线代表的就是给定直线，圆点就是平面上一点，下面的虚线就代表过圆点能作出的与给定直线平行的直线。这条公理在欧几里得几何学中无法被证明，因此它（或者其他描述不同，但是意思与上述公理相同的公理）被当作是欧几里得几何学一个基本的、尚未证明的起始点（也就是一个公理或假设）。尽管这个公理无法被证明，但看起来如果你受过适当教育，且理解所涉及的概念，那么就会一眼“看出”这个公理肯定是真的。（顺带提一下，在19世纪，非欧几里得几何学的发现让人们开始对“讨论这样的公理在任何意义上都是‘真的’是否还有意义”产生了严重怀疑。）



图5-1　欧几里得公理示意图

在上面的例子里，我们可能“看到”了公理的真理性，与此类似，如果某个人有正常的智慧，接受过适当的教育、培训，并对科学有一定的悟性，那么根据亚里士多德的观点，他就会一眼“看出”某些关于这个世界的基本事实不仅仅是真的，而且是必定为真的。而这些就概括地描述了人们是如何得到第一原则的。

此时，你或许能更清楚地看到，这种方法完全行不通，根本问题就在于第一原则。再思考一下我们在前几章中关于世界观、真理，以及经验事实和哲学性/概念性事实的讨论。基于我们在前几章里的讨论，几乎不可能存在关于基本事实是由哪些内容组成的任何共识，关于那些必定为真的基本事实是由哪些内容组成的，更不可能存在共识。

正如前面提到过的，亚里士多德认为科学所提供的理论和判断并不只是可能是真的，而是必定为真。这样公理化的方法以必定为真的第一原则为基础，而且似乎是唯一可能得到必定为真的科学知识的方法。你可能会猜测，我们在前面提到过的问题，也就是找到得到一致认可且必定为真的起始点的问题，将会是所有类似方法的通病。从很大程度上说，正是由于这个原因，现在的一个普遍共识是，科学判断和理论不能被保证一定是正确的。正如我们在前一章所讨论的，这并不是科学本身的缺陷，而完全是由大多数科学推理的归纳性质所决定的。然而，在我们开始讨论其他方法之前，另一种公理化方法，也就是笛卡尔的公理化方法，值得我们简要思考。

笛卡尔的公理化方法

我们在第2章结尾时讨论了笛卡尔，当时我们看到笛卡尔所感兴趣的是找到必定为真的观点，并以其作为基础构建出一个知识结构。从多个角度来看，笛卡尔对于适当的科学研究方法的观点与亚里士多德的观点非常相似（尽管笛卡尔并没有将自己局限于亚里士多德所采用的纯粹的三段论方法）。具体来说，笛卡尔所感兴趣的也是利用演绎推理从必定为真的起始点得到确定的知识。

与亚里士多德一样，当笛卡尔试图找到得到一致认可的起始点时，遇到了大致相同的问题。当这个起始点与宇宙相关时，似乎完全不存在得到一致认可又让我们感到确定的关于宇宙的基本原则。因此，在与宇宙相关的起始点方面，笛卡尔的方法所遇到的问题实际上与亚里士多德的相同。

不过正如我们在第2章中看到的，在某个点上，笛卡尔在寻找必定为真的起始点时把自己的大脑也考虑了进去。正如我们在第2章中看到的，认为笛卡尔的“我是，我在”必定为真，这是站得住脚的。因此，笛卡尔可能找到了至少一个（大体上说）得到一致认可的、必定为真的观点作为起始点。

然而，我们在第2章结尾时同样也讨论了，笛卡尔这个方法的基本问题是，它不足以成为一个基础。简言之，在寻找关于这个世界的必定为真的起始点时，笛卡尔的问题与亚里士多德的问题是一样的，也就是，似乎不存在得到一致认可的、必定为真的起始点。尽管，一个人至少可以在“我存在”（至少作为一个思考主题存在）的主张上找到某些确定性，对这一观点可能有更多共识，但是这个观点同样太单薄了，无法成为进行知识构建的基础。

波普的证伪主义

卡尔·波普（1902—1994）是证伪主义方法最著名的支持者。波普本人并没有把证伪主义当作一个明确的科学研究方法。事实上，他认为没有哪一个科学方法是明确的。然而，他确实认为证伪是科学的一个关键元素，也是区分科学理论与非科学理论的关键前提。接下来，我们将概括地了解一下波普的观点。

总的来说，波普认为科学强调的应该是尝试对理论进行反驳，而不是证实理论。根据波普的观念，对很多理论来说，找到证实证据实在太容易了。借用波普所使用的一个例子，也就是弗洛伊德的精神分析法，波普认为这个理论所做出的“预言”已经非常概括化，几乎任何一个事件都可以被解读为证实了这个理论。因此，这种理论的证实证据对波普来说就变得无关紧要了。

相比之下，思考一下爱因斯坦的相对论。正如我们在第4章开篇提到过的，爱因斯坦相对论的预言是恒星光线在经过太阳这样的大质量物体附近时会发生弯曲。如果这样的恒星光线弯曲真的会发生，那么这个现象可以在日食过程中观测到。因此，爱因斯坦的理论做出了一个明确而又夸张的预言，而且其他任何竞争理论都没有做出这个预言。由于爱因斯坦的理论做出了这样一个夸张的预言，而且这个预言很容易就可以被证明有误，从这个角度来看，爱因斯坦的理论冒了很大的风险。

从某个意义上来说，对于波普而言，一个理论所冒的风险越大，它的科学性就越强。举个例子，由于刚刚提到的这些原因（也就是爱因斯坦的理论做出了一个明确而又夸张的预言，因此冒着很快就会被证明有误的风险），爱因斯坦的理论与诸如弗洛伊德的精神分析法相比，就是一个更好的科学理论范例。总的来说，对于波普而言，这就是好的科学的特点，也就是科学应该强调证伪而不是证实，应该努力寻找有风险的理论。

正如前面提到过的，波普并没有特别强调证实证据。对他来说，一个成功的科学理论，其特征并不是有大量证实证据，相反，一个成功的科学理论应是：即使尝试反复通过对明确而夸张的预言进行验证来反驳，也仍然能站得住脚。这种证伪主义方法，也就是强调尝试对理论进行证伪而不是证实的方法，就是波普观点的核心。

以上是对波普观点相当简略的一个概述，但已经足以让人对波普所青睐的方法有所理解。你可能会猜测，我们之前讨论的有关不证实推理的命题，以及对奎因-迪昂论点进行讨论时所提到的命题，与波普的观点都是相关的。之前我们曾提到，几乎没有不证实推理的例子像它们本身看起来那么简单，就算真的有这样的例子，数量也非常少。相反，如果一个理论做出了预言，但实际结果与预言并不吻合，那么始终存在的一个选择是摒弃某个辅助假设而不是摒弃主要理论，而且这个选择确实通常都更为合理。简言之，尽管毫无疑问，不证实证据在科学中扮演着重

要角色，但是围绕这类证据的命题却非常复杂，从而使不证实，或者说证伪，不太可能成为科学的核心特点。

假设演绎法

人们经常可以看到对现在所说的假设演绎法的引用，由于这样的引用非常广泛，因此假设演绎法自然值得在此讨论一下。我们的讨论会很简短，因为实际上，假设演绎法所涉及的内容几乎没有超出我们已经讨论过的命题。

假设演绎法背后的基本思想是从一个或一组假设（或者更宽泛地说，一个理论）可以演绎出一系列可经观察得来的结果，然后去验证这些结果是否可以观察得到。如果可以观察得到，那么基于我们在前面讨论过的与证实推理相关的一些原因，这就被认为是支持了这个假设；如果没有观察到所预言的结果，那么同样基于我们之前在不证实推理部分中所讨论过的原因，这就会被当成证明假设不成立的证据。

让我们再快速讨论一点：假设演绎法所关心的通常不是假设本身是如何形成的，而是对假设进行辩护或证实。在科学哲学中，这个区别（也就是假设是如何形成的与假设是如何被证明或证实之间的区别）通常被描绘为发现语境 与辩护语境 的差异。发现语境通常被认为是两者之中更复杂的那个，在后续的章节中我们将会看到，实际上，假设与理论形成的方式出人意料地多样和复杂。然而，正如我们正在讨论的，即使是辩护语境（粗略地说，也就是指我们准备为某个假设或理论进行辩护或证实），这个过程本身也是极为复杂的。

毋庸置疑，证实推理和不证实推理在科学领域都扮演了重要角色。基于这些推理模式与假设演绎法之间的密切关系，我们完全可以说假设演绎法在科学领域扮演了重要角色。然而，再思考一下我们在前面讨论过的命题，包括证实推理的归纳性质、面对不证实证据时摒弃辅助假设的可能性、理论的不完全决定性、设计关键实验的不可能性或者难度、多个假设作为一个整体而不是单独地接受验证的概念，等等。有一种观点是科学以一个相对简单的过程推进，也就是从假设出发，提出预言，然后根据预言的现象是否被观察到来接受或摒弃假设。结合我们已经讨论过的内容，这种观点是对科学过于简单化的描述。

同样地，假设演绎法，归根结底也就是证实和不证实推理，在科学中毫无疑问扮演了一个重要角色。然而，基于我们在前面探讨过的命题，尽管假设演绎法是在科学中运用的一个 方法，但称它就是 科学方法却会令人产生误解。

| 结语 |

奎因-迪昂论点，以及围绕科学方法这个话题的命题，表明了科学与科学哲学中的某些命题是如何以极其复杂的方式交织在一起的。正如在

本章开篇就提到过的，我们的主要目标就是把这些命题提出来，这样我们就可以有个立足点，来理解这些命题是如何在科学史上的具体实例中发挥作用的。我们将在第二部分中探讨这样的实例，然而在此之前，还有几个基础命题需要我们思考。接下来，我们将研究一下与归纳推理相关的某些疑难命题。

第6章　哲学插曲：归纳的问题和困惑

总的来说，本书第一部分中所讨论的命题都与科学史和科学哲学中的基本话题相关，并为我们将在第二和第三部分中讨论的话题提供了背景材料。本章是一个哲学插曲，我们在这里将探讨的问题和困惑主要属于哲学范畴，也就是说，从某种意义上说，这些命题都是由哲学家提出的，并主要由他们进行讨论，而并不会对日常科学工作产生实际影响。这些话题也从某种意义上提供了一个插曲，因为它们与本书第一部分中讨论的其他话题不同，并不是我们在后续章节的讨论中所必需的背景材料。尽管如此，我们将讨论的问题仍具有普遍意义，因为它们能说明最基本的科学论证中一些最令人困惑的地方。

我必须指出，当人们第一次接触这些问题时，并不会觉得它们很难懂、令人困惑或具有深意。我记得多年前第一次了解到这些问题时，我的第一反应是它们似乎都是由一些哲学谬论组成的。它们给我的第一印象一点都不深奥或困难，而我一开始觉得根本不需要进行大量深入的思考就能解决这些问题。

但是，过了一段时间之后，你就会发现要回答这些问题并不简单，而且这些问题还带来了非常令人困惑的命题。在本章中，我的主要目标就是向你介绍几个这样的问题，它们都与归纳推理相关。我希望你可以花些时间在心里反复思考一下这些问题，这样你就可以体会到它们有多让人困惑。具体来说，我们将探讨休谟的归纳问题、亨佩尔的乌鸦悖论和古德曼的新归纳之谜。我们从休谟的归纳问题开始。

| 休谟的归纳问题 |

大卫·休谟（1711—1776）显然是第一个发现归纳推理具有令人困惑的一面的人，他的发现现在通常被称为休谟的归纳问题。要理解休谟的观点需要达到那种“啊哈……”的时刻。如果你真正理解了休谟的观点，你会看到这个观点与我们日常生活中最常见的几种推理有关，特别是与涉及未来的推论有关，而且这个观点特别令人困惑。让我们从对推理的简要介绍开始。

当我们进行推理时，比如，当我们进行论证的时候，我们的论证过程几乎总是包含隐含的前提。正如其名称所示，隐含的前提就是为了使推理看起来合理而必需的前提，但这些前提都是暗示的而不是明确表达出来的。举个例子，假设我们约定这个星期天到市区一起吃午饭，需要用到你的车，但你不知道去餐厅的路线。又假设我告诉你有一辆公交车从你家开到餐厅，因此你可以坐公交车赴约。在这个非正式的论证过程中，暗示而没有明确表达的前提是公交车在星期天正常运营。如果我们用括号来表示隐含的前提，这个推理过程可以概括如下：

有一路公交车从你家开到餐厅。

【公交车在星期天正常运营。】

所以　星期天你可以坐公交车赴我们的午饭之约。

重申一下，几乎所有推理过程都包含隐含的前提，而且这一点并没有特别出人意料或不同寻常之处。

正如前面提到过的，休谟的归纳问题与涉及未来的推论有关，因此，现在让我们来思考一个典型的关于未来的推理。比如，思考一下下面这个非常普通的归纳推理过程：

在我们过去的经验中，太阳总是从东方升起。

所以　未来，太阳非常有可能继续从东方升起。

注意一下这个推理过程中的逻辑形式，表示如下：

在我们过去的经验里，□总是（或者至少有规律地）发生。

所以　未来，□非常有可能继续发生。

到目前为止，这个推理过程中并没有什么特别不同寻常之处。我们只是摆出了一个典型的归纳推理，这个推理包含一个相当常见的逻辑形式，同时是我们在日常生活中经常使用的推理。然而，休谟显然是第一个注意到这种推理模式中有趣之处的人。具体来说，休谟发现这种推理包含下面这种隐含而又关键的前提：

未来会继续像过去一样。

在这个前提下，同样用括号来表示隐含的前提，上面的推理可以更准确地概括如下：

在我们过去的经验中，太阳总是从东方升起。

【未来会继续像过去一样。】

所以　未来，太阳非常有可能继续从东方升起。

更概括地说，上面列出的这个推理模式可以更好地表达为：

在我们过去的经验中，□总是（或者至少有规律地）发生。

【未来会继续像过去一样。】

所以　未来，□非常有可能继续发生。

第一个需要注意的重点是，为什么这个隐含前提是必需的。这个隐

含前提之所以对任何关于未来的推理都是必需的，只是在于如果未来不是继续像过去一样，那么就没有理由认为过去的经验对未来将获得的经验有任何指导意义。换句话说，如果“未来将继续像过去一样”是不正确的，那么过去的经验对未来就没有指导意义，因此，对未来的推理就不可信了。

理解这一点很关键，所以我们要暂停一下，来把这个命题弄清楚。为了有助于说明这一点，让我们思考一下罗伯特·海因莱因的小说《纽伯大梦》。在这部小说里，两个关键人物每天醒来都发现自己身处的世界与前一天有一点不同。比如，某一天醒来的时候，可能他们所在世界的货币系统与前一天有了些许不同（因此，他们身上从前一天留下来的钱就变得一文不值了）。某一天可能他们所处的世界里，人人都遵守交通规则，而到了第二天，当他们醒来时，违反交通规则成了这个世界的常态。总之，每一天他们所处的世界都与前一天有一些不同。由于自己所处的世界始终在变化，这两人不知道每天会遇到什么。对他们来说，未来不会像过去一样。因此，他们无法对未来做出那种我们都认为是理所当然的归纳推理。（大概他们所能做出的唯一一种关于未来的归纳推理，就是未来不会继续像过去一样，而这当然并不是一个特别有帮助的推理结论。）

所以，要理解休谟的归纳问题，应认识到的第一个关键点是：前面提到的那句话，也就是未来将继续像过去一样，是每一个关于未来的推理所必需的隐含前提，尽管通常都不为人察觉。

现在，如果“未来会继续像过去一样”这句话是任何一个关于未来的推理中所必需的隐含前提，那么很明显我们对关于未来的推理有多少信心，关键取决于我们对前面这句话的信心有多少。显然，接下来的问题就是：我们为什么会认为未来会继续像过去一样？

我们认为未来会继续像过去一样的主要（可能也是唯一的）原因，归根结底似乎是今天与昨天非常相像（今天大质量物体继续向下落、太阳又一次从东方升起、白天过后就是黑夜，等等），昨天与前天非常相像，前天与大前天非常相像，以此类推。简言之，在我们过去的经验中，每一天或多或少都与前一天是相像的。这似乎就是让我们认为未来的事物多少都与过去的它们相像的基础。总之，如果我们提出，“为什么会认为未来会继续像过去一样？”我们所能给出的最佳答案可以概括为下面这个推理：

在我们过去的经验中，未来像过去一样。

所以　未来很有可能继续像过去一样。

然而，请注意这是一个关于未来的推理。同样地，任何关于未来的推理，包括前面列出的这个，都依赖于一个隐含前提，那就是未来会继续像过去一样。当这个隐含前提被明示出来时，上面的推理可以更好地

概括如下：

在我们过去的经验中，未来像过去一样。

【未来会继续像过去一样。】

所以　未来很有可能继续像过去一样。

然而，上面这个推理显然是个循环，也就是说，它把整个推理过程试图建立的结论当作了前提之一。换句话说，前面概括出的这个推理是否为真取决于这个推理本身得出的结论是否为真。这很显然是循环的，因此不能提供足够的理由使推理的结论得到认可。

总结一下，休谟的观点是每一个归纳推理都依赖于“未来将继续像过去一样”的隐含前提。但是，用来解释支撑这个隐含前提的主要（似乎也是唯一的）方法是循环的，因此，看起来这个关键的隐含前提无法得到足够支撑。所以，关于未来的推理依赖于一个无法得到支撑的假设，这些推理从逻辑上也就无法得到支撑。

在结束这一小节之前，我还有最后几点要探讨。首先请注意，休谟的观点具有很强的一般性。它适用于所有 关于未来的推理——可以是关于日常事务的推理（比如太阳从东方升起），可以是关于科学规律在未来仍然成立的推理，也可以是认为未来的机械学将与其过去的内容相同的观点，等等。

其次，也是理解休谟的一个重点，那就是休谟没有 试图说服我们不去做关于未来的推理。休谟认为对未来进行推理是我们天性中的一部分。就像我们不能自愿停止呼吸，我们也不能不去对未来进行推理。休谟的问题是，我们是否可以从逻辑上 为我们关于未来的推理提供依据，而他的答案是：我们不可以。

| 亨普尔的乌鸦悖论 |

卡尔·亨普尔（1905—1997）是20世纪很有影响力的一位哲学家，主要研究领域为科学哲学。正如你可能猜测的，他的乌鸦悖论最初提出时是以乌鸦为例，尽管如果我们用一个不同的例子，可能会更容易看到这个悖论的意义。为了说明亨普尔的乌鸦悖论，假设你我都是天文学家，我们的主要研究项目就是收集类星体的信息。在这里，我要简要介绍一下背景知识：类星体是相对较新的发现，首次被发现是在大约40年前，即使经过了40年的研究，人们对类星体仍然知之甚少（尽管近期出现了一些关于类星体的理论，它们很有趣而且相当合理）。无论如何，关于类星体的一些基本事实是，它们似乎释放出巨大能量，而且看起来都在距离地球非常遥远的地方。

最初被探测到的几个类星体都在距离地球十分遥远的地方，而我们

所感兴趣的是，是不是所有类星体都在距离地球十分遥远的地方。一年又一年，我们（以及其他天文学家）持续发现更多类星体，并且注意到所发现的每一颗类星体都在距离地球十分遥远的地方。到目前为止，一切都很好。我们所面对的似乎是一个非常常见的情形，也就是我们的观察结果为“所有类星体都距离地球十分遥远”的观点提供了归纳支撑。

到目前为止，关于前面描述的情形，并没有什么特别令人感到困惑之处。在我们思考一个概括性观点（就像前面提到的关于类星体的观点）时，我们又观察到了大量实例与这个观点相一致，并没有一个与之相悖，我们就会倾向于把这些实例作为这个观点的归纳支撑。

亨普尔指出，当我们试图找出概括性观点的逻辑结构时，困惑就产生了。以“所有类星体都距离地球十分遥远”的观点为例，像这样的概括性观点，从逻辑上说，与其逆反命题是等价的，也就是说在这个例子中，前面提到的观点与“所有距离地球不遥远的物体都不是类星体”的观点是等价的。换句话说，观点（1）：

（1）所有类星体都在距离地球十分遥远的地方。

与如下观点（2）：

（2）所有距离地球不遥远的物体都不是类星体。

从逻辑上来说，是等价的观点。

我们在前面提到过了，我们所观察到的类星体全都在距离地球十分遥远的地方（同样假设我们没有观察到与这个观点相悖的实例），每个观察结果都有助于支撑“所有类星体都距离地球十分遥远”的观点。那么，为了保持一致性，每次我们观察到一个物体距离地球不那么遥远时，这个物体就不是类星体。我们得承认这个观察结果可以支撑观点（2），也就是“所有距离地球不是非常遥远的物体都不是类星体”的观点。

同样地，这个陈述本身并不必然是问题或困惑。但是，现在回忆一下我们在前面提到过的，也就是观点（1）和观点（2）是等价的。如果观点（1）和观点（2）是等价的，那么任何观点（1）的支撑都应该同等地算作观点（2）的支撑，同样地，任何观点（2）的支撑也都应该同等地算作观点（1）的支撑。困惑的核心此时就出现了：只要我们得到了一个可以支撑观点（2）的观察结果，那么似乎这个结果肯定也同等地支撑了观点（1）。

举个例子，在你手里的这本书是一个距离地球并不遥远的物体，所以不是一个类星体，所以对这本书的观察结果就支撑了观点（2）。基于前一段提到过的原因，这个观察结果应该同等地支撑观点（1）。然而，这个想法似乎有点疯狂，显然对于手里这本书的观察结果微不足道，对确认关于类星体的重要科学论断并不能起到什么作用。

与休谟的问题一样，也不要误解亨普尔的观点。亨普尔当然不是说对于你面前这本书的微不足道的观察结果实际上帮助证明了关于类星体的一个重要科学论断。他所指出的是在归纳推理中一个看似非常基本的模式，其实包含了某些奇特之处。同样，正如前面提到过的，亨普尔的乌鸦悖论并没有构成实际问题，因此，它通常并不是一个会影响科学研究发展的问题。然而毫无疑问，归纳推理可以支持像“所有类星体距离地球都十分遥远”一类的概述性观点，这是科学的重要组成部分。同时，亨普尔的乌鸦悖论意味着像这样的推理，其本质中存在某些让人深感困惑之处。

| 古德曼的绿蓝问题 |

前面讨论过的休谟的归纳问题，现在有时被称为归纳的“旧”谜题，与由尼尔森·古德曼所提出的归纳的“新”谜题相对应。古德曼（1906—1998）是一位涉猎很广的哲学家，其兴趣领域从逻辑到认识论，甚至到艺术领域。古德曼很显然是第一个注意到某些类型的归纳推理中另一个奇特之处的人。现在我们就重点探讨这个奇特之处。

思考一下类似“所有绿宝石都是绿色的”这一陈述。这个陈述似乎可以得到强大的经验支持，具体来说，每一块我们见过的绿宝石都是绿色的，而且我们从来没有见到过不是绿色的绿宝石。对绿宝石来说，“绿色”这个判断似乎就是古德曼所说的“可预期的”判断，也就是说，过去我们见过的绿宝石都是绿色的，根据这个经验，我们可以预计未来会见到的绿宝石也都会是绿色的。

现在，让我们定义一个新的判断，古德曼将其命名为“绿蓝”。定义“绿蓝”的方法有很多种，不过为了达到我们的目的（这也是相当接近古德曼构想的做法），假设一个物体是绿色的，而且在2020年1月1日前被首次发现，或者是蓝色的，并在2020年1月1日后被首次发现，那么这个物体就是“绿蓝”。正如前面提到过的，到目前为止，我们见过的所有绿宝石都是绿色的，没有一个例外。这个事实似乎让我们有理由认为未来我们将见到的任何绿宝石都仍然会是绿色的。

但是，现在请注意，到目前为止我们所见到过的绿宝石都是绿色的，而且都是在2020年1月1日前被首次发现的。换句话说，到目前为止我们所见到过的绿宝石都可以被称为“绿蓝”，没有一个例外。再换句话说，至少从到目前为止我们已经见到过的绿宝石来看，对“未来，所有被观察到的绿宝石都将为绿色”的归纳支撑与对“未来，所有被观察到的绿宝石都将为‘绿蓝’”的归纳支撑是完全相同的。

然而，当然，我们肯定不能推断出“未来将发现的所有绿宝石都将为‘绿蓝’”。也就是说，尽管我们觉得很有理由认为未来将发现的绿宝石会继续是绿色的，但我们很确定未来将发现的绿宝石（特别是那些在2020年1月1日之后才第一次被发现的绿宝石）将不会是“绿蓝”。

不过，如果很明显2020年1月1日后被发现的绿宝石会是绿色的，而不是“绿蓝”，那么在“绿色”和“绿蓝”这两个判断之间一定存在某些差异。第一个判断，用前面提到过的术语来说，就是古德曼所说的“可预期的”判断（也就是说，我们认为有一个合理的预期，那就是这个判断可以适用于未来将见到的绿宝石），但第二个判断就不是“可预期的”判断了。那么，一般来说，“可预期的”判断和“不可预期的”判断之间的差异是什么呢？

这个问题乍看起来似乎很容易回答，但事实并非如此。你脑中第一时间出现的答案可能是，像“绿蓝”这样的判断是被解读出来的，而不是“天然存在”的，也可能是与常规判断不同，这样的判断涉及对时间的参考，等等。这些答案中没有一个能经得起推敲。因此，尽管对如何区分可预期判断和不可预期判断存在很多建议的方法，但还没有一个得到了广泛认同。

与休谟的归纳问题和亨普尔的乌鸦悖论情况相同，重点是不要误解古德曼的观点。古德曼当然不是说我们应该认为未来会见到的所有绿宝石都继续会是“绿蓝”。很显然，未来的绿宝石并不会都如此。但是，鉴于像“绿色”和“绿蓝”这两种判断之间的不同之处似乎非常显而易见，你会认为描述可预期判断和不可预期判断之间的区别并不太难。古德曼提出的主要问题就是这两种判断之间到底有什么区别。就像前面提到过的，尽管这个问题乍看起来很容易回答，但是几十年过去了，虽然出现了很多种答案，但没有一个答案得到了广泛认可。因此，重申一下，尽管古德曼的归纳新谜题并不是一个实用的问题，因为它并没有影响科学的日常进程，但这个问题引发了一些关于归纳推理的令人困惑的问题，具体来说就是我们认为可以适用于未来的判断与不能适用于未来的判断之间有什么区别。

| 结语 |

正如本章开篇所提到的，我们在前面所讨论的命题无疑是哲学命题，并不会对致力于科研的科学家产生影响。这些命题似乎乍看起来都很容易解决。然而，事实是，尽管几十年过去了，人们也进行了大范围探讨，但这些问题仍然没有得到解答，这意味着我们某些最基本的归纳推理类型中存在让人深感困惑之处。

同时，在本章开篇我们也提到了，要充分理解这些问题通常需要花一些时间。理解了这一点，我会鼓励你把这些问题放在心中，反复思考一段时间。同时，我们将开始讨论一些在科学史上的实例中反复出现的命题，也就是围绕可证伪性概念的命题。

第7章　可证伪性

在本章中，我们将介绍可证伪性 这个概念。乍看起来，围绕在可证伪性概念周围的命题好像简单得不能更简单，或者直接得不能更直接了。然而，实际上，它们可以变得非常复杂，尤其是当运用在现实生活中的实例上时。在本章中，我们将首先了解一个简化了的可证伪性概念，然后研究一下某些与其相关的复杂因素。在后面的章节中，特别是当我们研究科学史上某些具体例子时，我们将会看到某些围绕可证伪性概念的更复杂命题的范例。

｜基本概念｜

从某个意义上说，可证伪性非常直接明确。它是对待理论的一种态度。具体来说，对某个具体理论，当你觉得存在一种“这个理论也许不正确”的可能性时，你所持的态度就是可证伪性。举个例子，假设萨拉是一位物理学家，她认为关于宇宙起源的大爆炸理论很有可能是正确的。假设萨拉与大多数物理学家一样，并不是那么僵化地坚持自己的观点。也就是说，如果有足够多的新证据出现，给出令人信服的原因，让人们认为大爆炸理论是不正确的，那么萨拉也将很乐意不再相信大爆炸理论。简言之，尽管萨拉认为大爆炸理论是正确的，但仍愿意承认它有可能是错误的，所以我们就可以说，萨拉认为这个理论是可证伪的。

相比之下，假设乔伊是地平说学会的一员。地平说学会的成员都发自内心地认为地球是平的。假设乔伊相信地平说理论，而且，不管出现什么样的证据表明这一理论是错误的，乔伊总能绕过这些证据，继续相信地平说理论。举例来说，假设我们指出几乎每个人都相信地球是球形的，乔伊回答说（可能并没有道理）大众的观点并不是真理的代名词。然后，我们向乔伊展示了一张在航天飞机上拍摄的地球照片。乔伊说有充分理由认为整个宇宙探索计划就是个骗局，这张照片以及相关电视报道都是伪造的；同时他对我们表示同情，认为我们上了这些虚假报道的当。我们继续争论说，历史书里有许多进行了环球航行的航海者所给出的记录，而这些环球航行只有在“地球是球形”的情况下才有可能。乔伊则告诉我们，他最近读到了一篇文章，文章大意是说在一个平的地球上，当靠近地球边缘时，罗盘方位会歪斜失真，这时，在像斐迪南·麦哲伦这样的探险者身上，可能发生的情况是他们开始沿着一个大圆圈航行，这个大圈围绕着平的地球的边缘，由于罗盘方位歪斜失真，这些探险者就错误地认为自己正在围绕一个球体、沿直线做环球体的航行。

很快我们就意识到，不管向乔伊展示多少证据来表明地平说是错误的，他都将坚持地平说理论。与萨拉不同，乔伊似乎不愿意承认他的理论可能是错误的，所以看起来，乔伊认为这个理论是不可证伪的。

当人们谈论或者撰写关于可证伪性的文章时，往往会把它当成理论

的一个特点。换句话说，有一种普遍但很不好的习惯，就是在谈到这个或那个理论时，说它是可证伪或不可证伪的。然而，只要稍微思考一下，就会发现这并不是谈论这个命题的最好方法。通常，可证伪性是对某个特定理论所秉持的态度，而不是这个理论本身的一个特点。让我们再以地平说为例。地平说本身并不具备什么因素使不可证伪性成为其本身固有的性质。让我们想象有两个人，他们都是地平说的支持者，然后其中一个人被说服了，转而认为地平说是错误的，而另一个人（就像前面提到过的乔伊），无论有多少证据，他都拒绝承认地平说不正确。在这两个人的例子上，地平说理论都是一样的，不一样的是两个人对待这个理论的态度。因此，“一个理论本身是不可证伪的”这一说法通常并不准确，实际上，关键的因素是你对这个理论的态度，而且正是这个态度决定了你认为这个理论是可证伪的还是不可证伪的。

| 复杂因素 |

目前，可证伪性这个概念可能看起来是个相当简单的概念，而“你是否认为某个理论可证伪”这个问题可能看起来是个直接明确的问题。然而，在很多实例中，特别是许多科学史上涉及大量理论变化的实例（比如从地心说到日心说的变化）中，要想说清楚这些理论是什么时候被当成不可证伪的，一点都不容易。为什么这个命题很难？让我们思考以下几个原因。

当我们在前面描述萨拉时，我们说如果有“足够多”新证据给出“令人信服的原因”，说明大爆炸理论是错误的，萨拉将愿意不再坚持这个理论。正如我们在第4章中讨论过的，证明预言是错的，常常可以作为反对一个理论的证据。也就是说，当用某个理论做出预言，而这些预言后来被证明是错误的，这时这个理论就面临问题了。然而，正如我们同样在第4章中讨论过的，错误的预言常常是由错误的辅助假设而不是错误的理论造成的。所以，当面对不正确的预言时，通常更合理的做法是摒弃一个或几个辅助假设，而不是放弃整个理论。

由于我们可以（通常也应该）摒弃一个或几个辅助假设，这时就出现了一个极其难以回答的问题：当证据数量达到多少时可以算是“足够多”，从而让人可以放弃一个理论？在什么情况下，可以说是有了“令人信服的原因”，让人相信某个理论（而不是一个或几个辅助假设）是错误的？

对于这些问题，并没有明确的答案。当然，在问题刚一出现时就放弃某个理论并不合理，但是另一方面，对某些理论来说，当证明这些理论不正确的证据达到一定数量时，继续坚持这些理论就不那么合理了。

第4章里关于冷聚变理论的例子可以很好地说明这一点。最初，在20世纪80年代末期，有一些有趣的实验结果表明聚变确实在低温环境下发生了。而且，给出这些实验结果的两位科学家绝不是什么怪人或边缘化的科学家。所以，整个过程就是受人尊敬、著作颇丰且威望极高的科

学家发表了（尽管是通过媒体，而不是主流的科学期刊）有趣的实验结果。然而，在接下来的几个月里，冷聚变理论遇到了诸多问题。具体来说，用冷聚变理论可以做出某些预言，其中很多都没有被观察到。一开始，面对这些问题，冷聚变理论的支持者选择摒弃多个不同的辅助假设，比如冷聚变实验设置中所使用的材料不对、实验操作者没有给冷聚变实验设备足够的充电时间，等等。后来，一年又一年，证明这一理论不正确的证据持续增加。与此同时，对最初那些有趣的实验结果，也出现了许多其他可行的解释。到了20世纪90年代末期，也就是冷聚变理论发表10年后，这一理论的支持者数量不断减少，他们不得不找出越来越复杂的辅助假设当理由。比如，至少对这一理论的某些支持者来说，冷聚变里的问题都是大型石油企业的阴谋所致，因为它们想阻止新能源的出现和应用。

这里要说明的是，最开始，摒弃一些辅助假设而继续坚持冷聚变理论是合理的。但是，当到了需要拿出阴谋论来做支撑时，继续坚持这一理论就变得不合理了。然而，重点是合理和不合理之间并没有一条清晰明确的界线。因此，不可能精确说明在什么情况下某个理论被当成了不可证伪的。

如果我们再回忆一下关于证据和世界观的讨论，那么前面所讨论的这些命题将变得难上加难。在第2章中，我们第一次讨论了我的朋友史蒂夫，现在让我们再以他为例。史蒂夫坚持对韦达经的某些章节进行极其严格的字面解读。由于认为这些经文非常可靠，史蒂夫相信月球上有智慧生命居住，月球到地球的距离比太阳到地球的距离远，而且阿波罗登月是伪造的。关于这些问题，我和我的学生跟史蒂夫进行过无数次讨论，通常都是向他提供证据，证明他的观点不正确。史蒂夫不承认所有这些证据，只相信经文所提供的证据。从我们的世界观出发，对我们来说，史蒂夫在这些问题上的观点可以明确地表明他认为这些观点是不可证伪的。毕竟，不管我们提供的证据多么令人信服，史蒂夫都拒绝改变其观点。

然而，现在让我们从史蒂夫的角度再来想一想 。在我们与史蒂夫讨论的过程中，他经常向我们提供他认为令人信服的证据，这些证据可以证明其所相信的经文是正确的。如果史蒂夫所相信的经文是正确的，那么史蒂夫的观点就是被证实了的，而我们的观点则是不正确的。不过，值得注意的是，我们不接受史蒂夫提供的证据，而且不管史蒂夫提供多么强有力的证据来证明其观点，我们都拒绝改变自己的观点。因此，这时从史蒂夫的角度来看，我们 才是把自己的观点当作不可证伪的。

同样值得注意的是，从史蒂夫的角度来看，他把自己所相信的理论当作是可证伪的。史蒂夫明确表示如果有足够多的证据，他乐于放弃自己的观点。但是，史蒂夫认为有意义的证据，与我和我大多数朋友认为有意义的证据相比，是非常不同的。我和我大多数朋友都把重点都放在我们认为是以经验为基础的证据上，包括从物理学、天文学、宇宙学等类似领域得来的证据。但对史蒂夫来说，最重要的证据是从经文里得来

的。所以，如果面对的是以经文为基础的证据（比如新发现的经文，或者对现有经文更新更好的解读，等等），史蒂夫欣然表示他将会乐于改变自己的观点。因此，从史蒂夫的角度来看，他确实愿意在面对足够多证据的情况下改变自己的观点，这也就是说，史蒂夫认为自己所相信的理论是可证伪的。

在这里，非常关键又很有难度的一个命题是，什么样的证据可以算作是有意义的证据。这是微妙而又重要的一点，并在科学史和科学哲学领域一次又一次出现。这一点十分重要，因此值得我们在此重申一下：在几乎所有现实生活的实例中，人们的主要分歧点并不是 一方或另一方在面对足够多证据时是否愿意放弃自己的理论，而是什么样的证据可以算是最有意义、最重要的证据。

重点是，人们所认为的最有意义、最重要的证据与其整体世界观是紧密相连的。史蒂夫对经文的坚持在他的观点拼图中处于核心位置。如果史蒂夫放弃对经文的坚持，则不可避免地要对他的观点拼图进行重大修改，或者说，实际上是要替换掉他的整个观点拼图中绝大部分拼板。而对我来说，我认为以经验为基础的证据是有意义的证据，因此，如果我实话实说，我强调的是什么样的证据可以被当作合适的以经验为基础的证据，而这同样会在我的观点拼图中居于核心位置。换句话说，我和史蒂夫各自的观点拼图对我们把什么样的证据当作是有意义的证据产生了深远的影响，而这反过来又会深刻影响我们关于“是谁认为自己的理论不可证伪”这个问题的看法。

| 结语 |

在结束本章前，我想再强调一点。在前面的讨论中，我的意思并不是说某种相对主义理论是正确的，也没有说所有证据和世界观都是同等合理的，更没有说史蒂夫的观点是合理的。我认为史蒂夫的观点完全不合理。我非常乐意论证一下，把证据建立在对宗教经文的字面解读之上是一种不好而且过时的做法，而像史蒂夫这样的人把自己的观点当成了不可证伪的。

我实际想表达的是，“人们是否认为某个理论是不可证伪的，如果是，为什么会这么认为”等命题都比人们通常所认为的要更加微妙。正如史蒂夫的例子所说明的，我们不能只是简单地说因为史蒂夫拒绝接受我们的证据，就得出他认为自己的理论不可证伪的结论。反过来，史蒂夫也可以用完全相同的说辞来描述我们，也就是我们拒绝接受他的证据。所以，如果我们要证明史蒂夫认为自己的理论不可证伪，我们需要做得更多。

同样地，如果仅仅僵化地说我们所选择的证据是正确的证据类型，也是不合理的。换句话说，我们不能通过僵化地说“我们的证据才是正确的证据类型”来得到“史蒂夫认为自己的理论不可证伪”的结论。

要证明史蒂夫认为自己的理论不可证伪，我们需要考虑一系列相互关联的命题，比如，在经验证据和古代经文之间，哪个作为证据更合理。也就是说，考虑了这些相关联的因素后，正确的结论就将是史蒂夫确实认为自己的理论不可证伪。对于这个过程，我认为不会存在质疑。然而，在这里，我想表达的主要观点是，要证明人们认为自己的理论不可证伪其实非常复杂，并不仅仅是简单地说人们不接受别人提出的证据。

所以，正如本章开篇提到的，可证伪性是一个比其乍看起来要更微妙、更复杂的命题。当我们在后续章节中探讨科学史上一些重要的发展时，请继续留意上面这些命题。

第8章　工具主义和现实主义

本章的目的是介绍看待科学理论的两种常见态度。它们通常被称为工具主义（或实用主义）和现实主义。首先，我们将讨论与科学理论相关的两个命题，也就是预言和解释。

| 预言和解释 |

设想一下，我们提出这样一个问题，“我们想从科学理论中得到什么？”当然，进行准确预言的能力是其中一点。就像我们在第4章中讨论过的，20世纪初爱因斯坦提出相对论时，这个理论得到认可的一个原因就是它做出了准确的而别的理论没能做出的预言。1919年日全食的观测结果验证了这一点。可以确定的是，像这样做出准确预言的能力就是我们希望从科学理论中得到的。

除此之外，存在一个普遍共识，那就是我们认为理论的另一个特性就是解释相关数据的能力。然而，尽管解释的重要性已毋庸置疑，但人们对“什么样的解释才算是充分的解释”并没有达成一致意见。举例来说，对某个事件，是不是可能有不止一个正确解释？或者是不是每个事件都只有一个正确的解释？一个合适的解释，是不是必须详细说明某些数据背后具体的一系列事件？如果某个理论明确指出某些数据应该被观测到，这样是不是就已经足够了？还是说一个合适的解释需要更进一步，指出相关事件如何以及为什么会发生？这些以及其他与解释的性质相关的问题都很难回答而且充满争议。

为了澄清这些命题，科学哲学家有时要对“解释”（有时被称为“正式解释”）和“理解”进行区分。相比之下，“解释”的含义最窄。更具体地说，如果你根据某个理论预测了某个数据或观察结果，那么你就可以说这个理论解释了这个数据或观察结果。在这种情况下，解释是某种追溯预言。

下面这个例子可能有助于理解“解释”这个概念。在20世纪早期，科学家发现，在过去几十年间，水星的运行轨道有一些奇怪。此时爱因斯坦还没有发表相对论。如果这个理论在关于水星轨道的观察结果出现之前就出现，那么这个理论应该就可以用来预测水星轨道的奇特情况。换句话说，20世纪初爱因斯坦的理论出现的时候，它可以用来解释（在这里我们用的是“解释”这个概念最窄的、相当于追溯预言的含义）水星轨道的奇怪现象。而这自然又成了支持爱因斯坦相对论的一个点，因为相对论可以解释这些特殊的数据。

相比之下，同时更宽泛地说，“理解”是指从某种意义上说更全面地领会数据和观察结果。举个例子，考虑一下“物体下落时速度大约增加10米每二次方秒”的观察结果。你可以用牛顿关于重力的理论和公式表明物体下落时应该具有这样的加速度。也就是说，牛顿物理学可以用来

解释（这里还是上面所说的“解释”这个概念最窄的、相当于追溯预言的含义）这些数据。现在，如果你确实把重力当作一种会对物体产生影响的实际存在的力（也就是说，对牛顿的重力概念，你所秉持的是现实主义态度，关于现实主义态度，我们会在后面更详细地说明），那么你可能会说你不仅知道这个物体的加速度是大约10米每二次方秒，还知道为什么会这样（因为它们受到引力影响）。也就是说，你不仅有对数据的解释，还有对数据的理解。

解释这个概念（这里仍然是上面提到的最窄的含义）是一个相当直接明确且没有争议的概念，而围绕理解的命题就非常复杂和有争议了。造成这种复杂性的许多原因会随着本书的展开而逐渐显现出来。但是，现在，为了让我们的讨论保持相对直接明确，我们将使用上面所描述的最狭义的“解释”概念。也就是说，如果某个理论可以被用于预测某个已有数据或观察结果，我们就会说这个理论解释了这些数据或观察结果。

正如前面提到过的，有一个普遍的共识是，对任何一个适当的理论，预言和解释是非常重要的要求。尽管解释和预言是理论最重要的特点，但仍然值得注意的是，这并不是我们唯一希望从理论中得到的特点。举个例子，当人们为支持或反对某个理论进行争论时，常常会提到简明、优雅和美等特点。在接下来的讨论中，我关注的重点基本都会是预言和解释，因为这些是公认的最重要的特点，但是其他特点你也应该记在脑中。

总结一下，人们有一个广泛的共识，那就是我们希望从科学理论中得到准确的预言和解释。但是，只有这些特点是不是就足够了？或者就像爱因斯坦认为现实世界归根结底就是物理学（至少老年爱因斯坦是这么认为的，而年轻时的爱因斯坦对此观点立场并没有那么坚定），是不是这么回事（或者，当然也可以是，现实世界是不是归根结底就是其他某个学科）？也就是说，“某个理论反映或模拟了现实世界”是不是很重要的一点？

我们是否需要理论反映现实事物的情况，这是个很有争议的命题，也正是这个命题把工具主义和现实主义区分了开来。对工具主义者 来说，一个适当的理论可以给出预言和解释，至于这个理论是否反映或模拟现实世界，并不是一个重要的考量。而对现实主义者 来说，事情恰恰相反，一个合理的理论必须不仅可以给出预言和解释，而且要反映现实事物的真实情况。

以某个理论作为实例进行研究将有助于理解工具主义者和现实主义者的区别。在这里，让我们研究一下托勒密天文学体系的某些方面。

托勒密体系由克罗狄斯·托勒密在公元150年左右提出。托勒密体系是一个以地球作为宇宙中心的体系，太阳、其他行星和恒星都围绕地球运转。托勒密对这些相关天体，比如月亮、太阳和其他行星，都分别进行了思考，提出了一套数学算法，用于预测和解释人们所观察到的这些

天体的位置。

托勒密体系更有趣的一点是对周转圆的使用。托勒密并不是周转圆算法的发明者，但与前人相比，他拓展了这个算法的使用范围。要理解周转圆的概念，图8-1可能会有所帮助。需要注意的是这幅图是一个高度简化的托勒密体系，关于这个体系的细节，我们将在后续章节中具体讨论。不过，这幅图已经足以说明我们在本章中所关注的重点。粗略地说，像火星这样的行星围绕一个点（也就是图中的点A）沿圆形轨道运行，而这一点则围绕地球沿圆形轨道运行。火星围绕点A运行的圆形轨道就称为周转圆。简言之，周转圆就是行星运行轨道所形成的一个小圆圈，其中心围绕另一点运行（这一点虽然并不一定就是这个系统的中心，但通常情况下都是）。

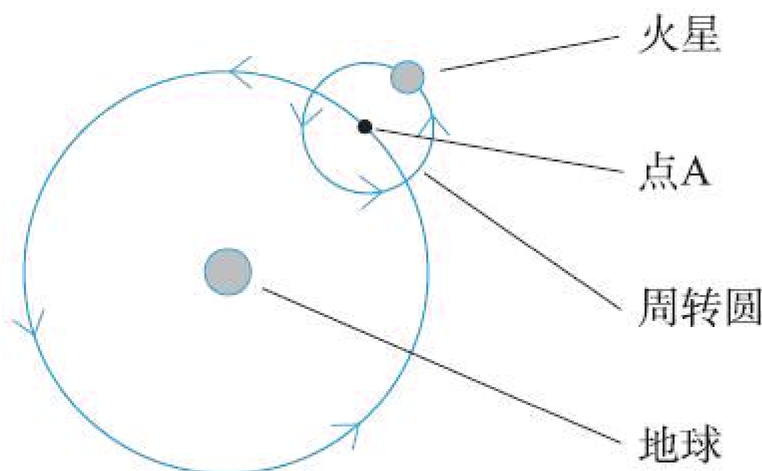


图8-1　托勒密体系中火星的运动

在以地球为中心的宇宙中，周转圆，或者至少像周转圆一样复杂和奇怪的东西（至少在我们看来如此），对要预测或解释相关数据的理论来说是必需的。在这个例子里，相关数据主要包括人们所观察到的行星在夜空中的位置（以及其他天体的位置）。举个例子，思考一下我们称为火星的那个亮点。人们所观察到的是，每天晚上、每个星期、每一年里，这个亮点在夜空中的位置都不尽相同。像托勒密体系这样的理论需要准确预言并解释这样的数据，要做到这一点，托勒密的理论（或者其他任意一个以地球为中心的理论）都需要周转圆，或者至少像周转圆一样复杂的东西。为什么一个以地球为中心的体系需要这样复杂的东西，关于这一点，我们将在后面讨论。现在，相信我：一个以地球为中心的宇宙模型，如果没有周转圆（或类似的东西），就无法准确预言和解释行星的运动。

所以，一方面，如果没有周转圆，托勒密体系（或者其他任意一个以地球为中心的理论）就无法得到认可，因为它无法给出适当的解释和

预言。而另一方面，有了周转圆后，托勒密体系在预言和解释方面又表现得相当出色。事实上，托勒密体系是个了不起的数学模型，可以解释和预言所有可见行星和恒星的运动，而且准确度很高。虽然这个体系在预言和解释方面并不完美（几乎没有理论是完美的），但仍然是个很好的理论，而且远远优于当时已有的其他任何理论。

因此，从解释和预言方面来看，托勒密体系由于运用了看起来很奇怪的周转圆而表现得非常出色。不过，周转圆是不是真实的存在？或者周转圆在理论中被使用会不会只是因为它是对行星运动进行预言和解释所必需的？

假设我们身处2世纪，思考一下火星是不是真的沿一个以点A为中心的小圆圈运行。再假设我们所秉持的观点是唯一的重点是托勒密体系使用了周转圆，因而在预言和解释方面表现出色，而“火星是否真的沿周转圆运行”这个问题一点也不重要。这个观点在托勒密的时代并不是什么不寻常的观点，就算放在今天也并非与众不同。很大一部分科学家和科学哲学家都认为一个科学理论的主要任务是解释和预言相关数据，而这个理论本身是否反映事物的真实情况，一点都不重要。正如前面提到过的，这种看待科学理论的态度通常被称为工具主义，而秉持这种态度的人就被称为工具主义者。

相比之下，现实主义者也认为科学理论应该解释和预言相关数据，但同时认为一个好的科学理论必须是真的，也就是这个理论必须反映事物的真实情况。

对一个生活在公元150年的工具主义者来说，“周转圆是真实存在的吗”这个问题并不重要。托勒密的理论准确地预言和解释了相关数据，这才是唯一的重点。但与之相反，对一个现实主义者来说，这个问题却是至关重要的。尽管托勒密的理论做出了准确预言和解释，但现实主义者仍然要求这个理论能反映事物的真实情况。所以，如果火星没有沿周转圆运行，也就是说，如果周转圆并不是真实存在的，那么托勒密的理论就不能被接受。

顺带提一下，关于“周转圆是真实存在的吗”这个问题，托勒密本人会如何回答不得而知。在近期一些关于托勒密体系的文献中，托勒密都被描绘成一位工具主义者。但这并不非常准确。确实，托勒密所关心的大都是解释和预言，关于自己的理论是否反映了事物的真实情况，托勒密几乎没有讨论。当托勒密这样做时（大多数情况下，托勒密确实是这样做的），他看起来像一位工具主义者。然而，托勒密在一些段落中讨论了一些相关命题，比如行星在周转圆上的运行机制。这些讨论只有对现实主义者才有意义，所以如果托勒密所秉持的是完全的工具主义态度，那就很难解释他为什么会做这样的讨论。我认为最准确的观点应该是，托勒密跟我们大多数人一样，所秉持的态度中既有工具主义成分，又有现实主义成分。

这样的混合态度并不少见。对某个理论的特定部分 秉持现实主义态度而对其他部分秉持工具主义态度，这当然有可能，而且一点也不自相矛盾。举个例子，17世纪以前，很多人对托勒密体系中地球为宇宙中心的观点持现实主义态度而对周转圆相关部分秉持工具主义态度。也就是说，在17世纪以前，人们普遍认为地球是宇宙的中心，而且认为这个观点非常合理。因此，人们通常会认为托勒密理论中地球为宇宙中心的观点反映了事物的真实情况。而这些人中有很多（可能是大多数），都对托勒密体系的周转圆部分秉持工具主义态度。

一个人对某个科学领域的理论秉持现实主义态度，而对其他领域的理论秉持工具主义态度，这也是非常常见的。举个例子，几乎我认识的每个人都对我们现在这个以太阳为中心的太阳系模型秉持现实主义态度。然而，他们中有很多人则对现代量子理论秉持工具主义态度。

也有人可能分别用工具主义态度和现实主义态度来同时接受两个相互竞争的理论。举个例子，哥白尼体系（一种日心说理论）于1550年代发布，到了16世纪末期，在欧洲的大学里，同时教授托勒密体系和哥白尼体系的情况一点都不少见。在望远镜发明（大约在1600年）之前，人们有很好的理由来相信地球确实是宇宙的中心。因此，人们通常对托勒密体系（或者至少是这一体系中地球为宇宙中心的部分）秉持现实主义态度。同时，在某些方面，哥白尼体系多少更易于应用，所以人们对这个体系秉持工具主义态度。也就是说，哥白尼体系并没有被认为是反映了事物的真实情况，但却被当作一个便于预言和解释的理论而被接受和广泛应用。总之，在1550年到1600年间，托勒密体系和哥白尼体系和平共存。人们通常都对前者秉持现实主义态度，而对后者秉持工具主义态度。然而，随着望远镜的发明，以及表明地球为宇宙中心的观点是错误的证据被发现以后，这个相对和平的共存状态发生了巨大改变。但这些都将是后续章节中的故事了。

总结一下，工具主义和现实主义是人们对待理论的态度。工具主义者和现实主义者一致认为一个适当的理论必须准确预言和解释相关数据。但是，现实主义者同时认为一个适当的理论必须描绘或塑造事物的真实情况。最后，混合了工具主义态度和现实主义态度的情况，或者对某个理论秉持现实主义态度而对其他理论秉持工具主义态度的情况，并不矛盾，也并不少见。

| 结语 |

在结束之前，我将快速讨论两点。与前一章讨论的可证伪性概念情况相同，文献中常常把工具主义和现实主义描绘成科学理论本身的特点。然而，把工具主义和现实主义看作是人们对待科学理论的态度 ，而不是理论本身的一个特性，有助于更好地理解这两个概念。也就是说，正如我们不能说某个理论本身固有可证伪性或不可证伪性，我们也不能说某个理论本身固有的是工具主义角度或现实主义角度。事实上，对工

具主义角度和现实主义角度更好的归类方法就是把它们当作人们对待某个理论的态度。

我们在第2章讨论过真理符合论和真理融贯论。回忆一下，真理符合论的支持者认为真理是符合现实的观点，而真理融贯论的支持者则认为当一个观点可以与一个整体的观点体系相融合，或者说是拼合在一起时，那么这个观点就是真理。因此，接下来的疑问就会是真理的符合论和融贯论是否与工具主义和现实主义紧密相连。

需要注意的是，真理理论与工具主义和现实主义之间，并没有必然联系。举个例子，如果你是真理融贯论的支持者，同时对理论持有现实主义态度，这其中并没有逻辑上的矛盾。同样地，真理符合论的支持者同时是工具主义者也没有矛盾。

然而，工具主义和现实主义态度与真理符合论和融贯论之间确实有某种关联，这一点也并不应该让人感到惊讶。回忆一下在第2章中，我们讨论过真理融贯论的支持者之所以秉持这样的立场，通常是基于对现实所抱有的疑惑，或者更确切地说，是基于我们关于现实的知识。如果从真理理论的角度出发，你对现实心存疑惑，而从工具主义和现实主义的角度出发，你又坚持认为理论模仿或反映了事物的真实情况，那么，这就有些奇怪了（尽管严格来说，这并不矛盾）。所以，真理融贯论的支持者更倾向于秉持工具主义态度，这就一点也不让人感到惊讶了。

同样地，真理符合论的支持者对理论更倾向于秉持现实主义态度，这也一点都不让人感到惊讶。原因实际上是相同的，也就是说，如果你认为真理是与事物的真实情况相一致的，那你自然就会认为科学理论同样模仿或反映了事物的真实情况。

那么至此，我们对科学史和科学哲学所涉及的基础命题所进行的研究就将告一段落了。理解了这些命题，我们就可以更好地探讨本书下一部分中提出的命题，具体来说，在下一部分中我们将研究从亚里士多德世界观向牛顿世界观的转变。

第二部分　从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变

在第二部分中，我们将研究从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变。从很大程度上说，这个转变由17世纪早期的一系列新发现所激发。在这个转变的过程中，我们在第一部分中讨论过的命题，包括世界观、经验事实与哲学性/概念性事实、证实与不证实证据、辅助假设、可证伪性、工具主义、现实主义，彼此之间以一种有趣而又复杂的方式交织在一起。对这个转变以及所涉及的命题的讨论，将为我们在第三部分的探讨提供背景知识。在第三部分中，我们将探讨一些新近科学发展对我们现有世界观所提出的挑战。

第9章　亚里士多德世界观中的宇宙结构

在本书的这一部分中，我们将探讨从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变。本章的主要目标是大致介绍一下在大约公元前300年到公元1600年间，人们通常是如何看待宇宙的。其中包括人们对宇宙物理结构的看法和对我们所居住在怎样的宇宙中的概念性观点。我们将从对宇宙物理结构的简要介绍开始。

｜宇宙的物理结构｜

正如在前面提到过的，在西方世界，在大约公元前300年到公元1600年间，亚里士多德世界观是占主导地位的世界观。当我说这是占主导地位的世界观时，我的意思是，一个深深植根于亚里士多德观点（尽管并不一定与其相同）的观点体系是西方世界的主要观点体系。这个世界观当然不是那个时代唯一的观点体系，不管在哪个时代都是这样，总会有可互相替代且互相竞争的观点体系，但是亚里士多德观点体系在当时最为普遍。

在亚里士多德世界观中，地球被认为是宇宙中心。与人们通常所认为的不同，当时的人们信奉地心说并不仅仅是出于一些以自我为中心的原因。也就是说，地心说的基础并不是“人类是特别的，因此应该居于一切存在的中心”的观点，或者至少最初并不以这个观点为基础。确实，“人类很特别”的观点可以与地心说拼合在一起，但是地心说最初的原因却是实实在在、以经验为基础的推理结果。我们将在下一章中研究其中的某些原因。

同样与人们通常所认为的不同的是，在亚里士多德世界观中，地球被认为是球形的，而不是平的。甚至在亚里士多德时代以前，我们的前人就很清楚，地球几乎肯定是球形的。同样地，我们将在下一章中研究这一观点产生的原因，这些原因在很大程度上与我们现在所掌握的原因是重合的。

关于月亮、太阳、恒星和行星，亚里士多德世界观中的观点如下：月亮当然是距离地球最近的天体。月亮和地球之间的区域，也就是月下区域，被认为与月亮以外的区域，也就是月上区域，有显著差异。稍后我们将讨论其中的一些差异。

在月球以外，通常的共识是行星和太阳的顺序如下：首先是水星，然后是金星，接下来是太阳、火星、木星、土星以及所谓的恒星球面。以下是关于这些行星和恒星的几点说明。

以火星为例来思考一下。在我们的时代，当我们想到火星时，我们想到的是一个布满岩石的星球，与地球有些相像，可能有荒芜的地表，还有比地球上红土地更红的土壤。但是，总的来说，我们倾向于认为火

星基本上与地球很像，是一个在宇宙中运行的巨大岩石星球。

我们对火星的看法在很大程度上都受现有技术的影响。我们看到过火星表面的照片，了解过曾到访火星的宇宙飞船带回的数据，可能还通过望远镜亲身观测过火星，等等。总之，我们关于火星的观点深受技术的影响。

这样的技术在亚里士多德世界观占主导的时代并不存在。事实上，关于恒星和行星的观点基本上只能以肉眼观察结果为基础。一个人仅用肉眼去看恒星和行星，能看到什么？——看不到什么。事实上，没有现代科技，恒星和行星看起来非常相似。基本上，恒星和行星看起来都是夜空中的亮点。仅用肉眼观测，恒星与我们称为行星的五个亮点（至少是五个仅用肉眼观察可见的行星）之间，主要区别在于恒星和行星在夜空中的运动模式不同。不同的运动模式就是把行星和恒星区别开来的主要因素。

正因如此，秉持亚里士多德世界观的人无论如何都没有理由认为其他行星与地球之间存在相似点。事实上，在亚里士多德世界观中，太阳、恒星和行星都被认为由类似的物质组成，而且其与地球上的任何物质都相当不同。这种物质就是以太——被认为只能在月上区域找到，而且具有不寻常的属性，从而可以解释月上区域里物体的运动模式。

在宇宙边缘就是恒星所在的球面。通常的观点是所有恒星与地球之间的距离都相等，且都镶嵌在一个球面上。球面以自身轴线为中心转动，转动一圈大约24小时。球面转动的时候带动镶嵌其上的恒星一起转动，这就解释了人们关于恒星的观测结果，也就是恒星看起来每24小时沿圆形轨道围绕地球转动一圈。

最后，关于宇宙的大小，我做一点说明。在亚里士多德世界观中，人们认为宇宙有多大？或者说固定的恒星球面距离地球有多远？回答这些问题，我们必须十分谨慎。按照当时的标准，宇宙被认为是非常大的。不过与他们的想法相比，我们所知道的宇宙可以算是大到无法想象，甚至是无限的，因此，按照现代标准，当时的人们所认为的宇宙对我们来说是一个相对较小的宇宙的概念。换句话说，当时的人们认为宇宙很大，但是他们无法想象宇宙后来会变得有多巨大。

| 关于宇宙的概念性观点 |

现在，让我们结束对宇宙物理结构观点的讨论，开始讨论关于宇宙的更概念化的观点。在所有更概念化的观点中，最重要的两个是目的论和本质论。也就是说，人们认为宇宙是有目的的，而且有本质存在。重点是目的论和本质论紧密交织在一起，交织程度之深，甚至可以令人把它们看作是同一枚硬币的正反两面。下面我将简要解释一下这些概念。

要理解目的论，让我们首先理解目的论解释这个概念。假设我们提

出下面这个问题，“为什么结果实的植物会结果实，比如，为什么苹果树会结出苹果？”很明显，答案与繁殖有关。也就是说，苹果里面有种子，种子就是苹果树繁殖的媒介，所以，很明显苹果与繁殖有关。然而，请注意，大部分植物并没有把自己的种子包裹在果实中，那么为什么结果实的植物会把种子包裹在果实中呢？顺便提一下，与人们通常所认为的不同，果实并不会向种子提供任何养分（正因如此，果实与坚果非常不同，坚果的果肉为种子提供养分）。这是一个很好的问题，以苹果树为例，苹果树用大量养分来结苹果，并把种子包裹在这些苹果中，但苹果却不能直接为种子提供养分。那么苹果树到底为什么如此大费周章又花费那么多资源来把种子包裹在苹果里呢？

一个好的答案是苹果为散播种子提供了一个手段。让我们暂且用拟人的方式，从苹果树的角度来分析一下这个情况。别忘了，植物是不会移动的，所以如果你把自己的种子直直地播撒下去，它们就将落在已经有了植物的土地上。因此，你需要一些能让种子离自己远一些的方法。大多数植物都面临这个问题，而解决方式有很多种。有些植物把种子包裹在轻盈蓬松的结构里，被风吹走；有些植物把种子包裹在带刺的容器中，有动物经过，就可以扎在它们身上被带走；有些植物则把种子包裹进像直升机一样的结构里，盘旋着从自己身边离开；等等。结果实的植物把种子包裹在果实里，这些果实对动物来说是美食，当动物吃掉这些果实时也就同时把种子吃了下去。一两天以后，动物通过排泄排出种子，此时，种子与产出果实的植物就已经有了些距离（同时值得一提的是，这时，种子也可以很方便地得到肥料）。

简言之，如果我们提出“为什么苹果树会结苹果”的问题，一个不错的答案就是苹果树为了散播种子而结苹果。这就是目的论解释的一个最好范例。下面是另外几个例子，比如：

为什么心脏会跳动？——为了输送血液。

为什么你会读这本书？——为了学习科学史和科学哲学。

为什么剑龙背上有巨大的骨板？——为了调节体温。

一般来说，目的论解释就是从为实现一个目标、目的或功能的角度而给出的解释。在上面那些例子里，要实现的目标、目的或功能都很明确：散播种子、输送血液、学习和调节体温，这些都属于目标、目的或功能。

现在，让我们把上面的解释与机械论解释 进行一下对比。机械论解释是一种不从目标、目的或功能的角度提出的解释。举个例子，假设我扔了一块石头，如果我们提出“为什么石头会下落”的问题，那么从17世纪末期至今，对这个问题的标准解释是，石头因为重力而下落。值得注意的是，这个解释里并没有任何目标、目的或功能的意味。石头的下落没有目标或目的，也不涉及任何功能。石头只是一个受外力作用的物

体。这种不涉及目标、目的或功能的解释就是机械论解释。所以，总的来说，目的论解释是从目标、目的或功能角度提出的解释，而机械论解释则是不使用目标、目的和功能的解释。

值得注意的是，对很多问题来说，目的论解释和机械论解释都是行得通的。上面的例子，也就是苹果树结出苹果来散播种子的例子，就是一个目的论解释。但是对同样的问题，我们也可以给出一个机械论解释，就像下面这样：在苹果树演化过程中，现代这种可结出苹果的苹果树的祖先（或者说是苹果的祖先）存活了下来，而且比那些不结苹果的苹果树更容易繁殖，因此，在苹果树这个物种的总数中，可结出苹果的苹果树（或者说是这些苹果树的祖先）所占比例就特别高。简言之，对“为什么苹果树会结出苹果”这个问题的回答，就只是从演化论角度进行的一个描述，而且与不同的存活率和繁殖率有关。

请注意，这个演化论角度的描述并没有涉及任何目标、目的或功能。同样，这也是对“为什么苹果树会结出苹果”这个问题的准确解释。总的来说，一个问题常常可以同时有目的论和机械论两种解释。

我比较详细地探讨了目的论解释，因为目的论解释很清晰地表明了我们和我们的前人在对宇宙概念化认识上的区别。在亚里士多德世界观中，目的论解释被认为是合理的科学解释，这与现代科学形成鲜明对比，在现代科学中，机械论解释占主导地位。目的论解释被认为是合理的科学解释，其中原因简单明了：在亚里士多德世界观中，宇宙确实被认为是有目的的，也就是说，目的论并不仅仅是解释的一个特点，更是宇宙的一个特点。

几个具体的例子可能有助于说明这一点。假设我们回到前面扔石头的例子。同样地，在现代，对“石头为什么会下落”这个问题都是从重力的角度进行解释。但是重力这个概念（我们现代意义上的重力概念）直到17世纪末期才出现，所以在亚里士多德世界观中，不管人们如何解释石头的下落，都不可能是出于我们所理解的重力的角度。（顺带提一下，在17世纪以前的文献中，“重力”这个词确实经常出现，但是它所指的并不是我们现在通常所理解的作为一种引力的重力概念。实际上，在17世纪以前，“重力”这个词通常只是指重量大的物体向下移动的运动趋势。）在亚里士多德世界观中，石头会下落是因为它主要是由重量比较大的土元素组成的，正如我们在第1章中讨论过的，土元素有一种向宇宙中心运动的天然趋势。换句话说，土元素的天然趋势是去实现某个特定目标，也就是要位于宇宙中心。

每个基本元素的天然目标都是要到达其在宇宙中的天然位置，这些天然目标解释了为什么物体会有它们所表现出来的行为模式。火向上燃烧，是因为火元素的天然目标是向边缘移动，远离中心。其他的天然运动模式也是如此。（至于施加外力之后出现的运动模式，比如我把一块石头向上扔，这就是完全不同的情况了，不过这种情况目前对我们来说并不重要。）

类似的解释也适用于月上区域。元素以太的天然目标是沿正圆轨道运动，这也就解释了天体（比如太阳、恒星和行星）的圆形轨道运动。总的来说，宇宙被认为是一个目的论的宇宙，充满了各种天然目标和目的。

与目的论紧密相连的是前面提到过的另一个关键概念，也就是本质论。天然存在的物体都被认为具有本质属性，而正是因为这些本质属性，物体才有了它们所展现出来的行为模式。所有的物体都是由通过某种方式组合起来的物质所组成，因此，组成某个物体的物质和这种物质的组合方式决定了这个物体将具有某种天然能力和天然趋势，我们可以把这些天然能力和天然趋势统称为本质属性。最简单的物体，也就是宇宙中的基本元素，当然具有最简单的本质属性。它们的本质属性就是向自己在宇宙中的天然位置运动的趋势。

值得注意的是，目的论和本质论紧密联系在一起。一个物体的本质属性就是一个目的论的属性，就像前面提到过的，目的论和本质论就像一枚硬币的正反两面。

复杂一些的物体就具有更复杂的天然属性，但是基本情况是相同的。让我们以橡树果为例。跟其他物体一样，橡树果是由通过某种方式组织起来的某些物质组成的。就像前面提到过的，组成橡树果的物质和这些物质的组织方式决定了橡树果将具有某种天然能力和趋势。换句话说，橡树果将具有某种本质属性，而这个本质属性就决定了橡树果会有它所展现出来的行为模式。橡树果的天然目标是长成一棵成熟的橡树，也就是说，如果条件适宜，橡树果可以长成一棵橡树，最终通过产出更多橡树果来进行繁殖。所有这些都是由橡树果的本质属性决定的，而这个本质属性则来自于组成橡树果的物质和这种物质的组织方式。

请再注意一下，橡树果的本质属性和其以目标为导向的、目的论的行为之间存在紧密联系。概括地说，橡树果的本质属性与它的生长、成熟和最终繁殖都紧密相连。换句话说，橡树果的本质属性是一个目的论的属性，也就是以生长和繁殖为目的。

在亚里士多德世界观中，自然科学家的工作在很大程度上是理解不同种类的物体都有什么目的和本质属性。举个例子，生物学家会希望理解不同动物物种的本质属性。这个工作通常并不简单，也不是无足轻重的，但这项工作的脉络非常清晰。你需要理解某个物体是由什么物质组成的、这种物质是如何组织的、为什么这种物质会以这种方式组织在一起、这个物体的天然目标或功能是什么，等等。理解了这些问题，你就会明白这个物体有什么目的和本质属性。

让我们把这一部分的要点总结一下：所有自然物体都有本质属性；本质属性是目的论的属性；本质属性决定了物体会有它们所展现出来的行为模式。简言之，宇宙被认为是一个目的论的、本质论的宇宙。

结语

总结一下，从宇宙的物理结构来说，地球被认为是宇宙的中心，月亮、太阳、恒星和行星围绕地球运动。在下一章中我们将看到，基于当时人们所掌握的证据，这些是得到最有力支撑的观点。

从更概念化的角度来看，亚里士多德世界观认为宇宙是目的论的、本质论的宇宙。宇宙充满了天然目标和目的，理解这些目标和目的是自然科学家理解宇宙的主要工作之一。

在西方世界中，在很长一段时间内（几乎有2000年）这个关于宇宙的观点都是普遍观点。在如此长的一段时间中，这个世界观自然得到了丰富和修改。举例来说，西方世界的三大主要宗教，也就是犹太教、基督教和伊斯兰教，都做出了贡献。但是这些贡献仍然是在亚里士多德的整体框架内的，也就是说，它们的基础仍然是一个以地球为中心、有本质存在、有目的的宇宙。

第10章 托勒密《至大论》序言：地球是球形的、静止的，并且位于宇宙中心

在前一章中，我们研究了亚里士多德世界观中关于宇宙整体结构的观点。在本章中，我们将探讨这些观点背后的某些原因，具体来说，我们将探讨一些支持了“地球是球形的、静止的，并且位于宇宙中心”的论据。

本章的主要目标之一是说明尽管亚里士多德世界观中的观点与我们的观点非常不同，但仍然得到了强有力的支撑。很遗憾，现在存在一种倾向是认为我们前人的观点总有些幼稚或天真，但是在本章中，我们将看到事实并非如此。当你思考本章提出的论据时，请注意，总的来说，它们都是很完整的。它们中大多数（除了与“地球为球形”相关的观点）都被证明是错误的，但其中的错误非常不易察觉，而且造成错误的原因也远不是那么显而易见的。事实上，这些论据的瑕疵，其根源是经过科学史上很多著名人物（简单举几个例子，包括伽利略、笛卡尔和牛顿）的共同努力才找到的。

我们将思考的大部分论据都可以在亚里士多德的《论天》和托勒密的《至大论》开篇部分中找到。这两部著作中的大部分论据都是相似的。然而，托勒密的著作整体来说更容易理解，所以在本章中，我将主要关注托勒密著作中提出的这些论据。

作为章节引言的最后一点，值得一提的是，我们在这里所关注的只是亚里士多德世界观中的一小部分论据，也就是托勒密在著作中也提到的那些可以支持“地球是球形的、静止的，并且位于宇宙中心”这一观点的论据。不过，对亚里士多德世界观中的其他大多数观点来说，基本精神是相同的：尽管这些观点与我们的不同，而且大多数都被证明是错误的，但秉持这些观点的人们一般都有足够的理由来这么做。我们将从对托勒密《至大论》的一些初步评论开始。

《至大论》在公元150年左右发表，是一本非常专业的科技著作，其中不仅有文字，还有示意图。这本著作的现代印刷版本大约有700页。这是一部内容翔实而艰深的著作。

我们将要思考的论据来自《至大论》的序言，也就是全书中最无关科技的一部分（事实上，这部分一点科技内容都没有）。在这个序言中，托勒密提出了大量关于宇宙结构和运转方式的论据。在本章中，我们只关注可以支持宇宙结构相关观点的论据，而在后续的章节中，我们还会思考托勒密关于宇宙运转方式的某些论据（比如，支持了有关“让太阳、恒星和行星保持运动的因素”的观点的论据）。让我们从支持“地球为球形”这一观点的论据开始。

地球为球形

存在一种普遍但错误的观点：在16世纪前，人们大都认为地球是平的。事实上，至少从古希腊时期（比如柏拉图和亚里士多德生活的约公元前400年）开始，受过教育的人中几乎没有人认为地球是平的。那么，对我们前人的这个误解是如何变得如此普遍的？这是一个很有趣的问题，但这个问题偏离了我们在这里所关注的重点。在这里，我们只需知道，追溯到至少公元前400年，我们的前人就有很好的理由来相信地球是球形的。思考一下下面这段来自托勒密《至大论》序言中的话。（从此处开始，所有引用，除非特别指出的，均来自托勒密《至大论》序言。括号里的数字，比如【1】，是我添加的标号，以方便指明具体段落。）

第四部分　作为一个整体，地球明显是球形的

现在，同样地，把地球作为一个整体来看，它明显是球形的，我们应该倾向于这么认为。【1】……很可能看到的情况是，对地球上不同观察者来说，太阳、月亮和其他星体升起和落下的时间并不相同，而且对住在东方的人来说总会早一些，对住在西方的人来说总会晚一些。【2】我们发现对发生在同一时刻的食现象，特别是月食现象，不同观察者记录的时间并不相同……【3】人们发现这个时间上的差异与不同地点间的距离成比例，因此可以合理地认为地球表面是球形的，其结果就是保持一致的曲率可以保证地球表面每个部分都按比例地跟随地球运动。但是，如果这个曲率发生变化，上述一切就不会发生，这在下面的思考中可见一斑。

【4】因为，如果它【地球】……是平的，对所有人来说，星星将在同一时间升起和落下……但这似乎并没有发生。【5】可进一步明确的是，地球也不是圆柱体……【因为】我们越靠近北极，南方天空的星星就越少，而北方天空的星星则开始出现。所以，在这里，地球表面不同物体的曲率在物体的倾斜方向上都是相同的，这明确表明了地球每个面都是球形的。【6】再举个例子，当我们向高山或任何地势高的地方航行时，不管是在什么时候，从什么方向出发，以什么角度前进，我们所能看到的目的地都会一点一点地增加，好像它们是从海里升起来的，而在此之前，由于水面的曲率，它们看起来像是淹没在水中。（穆尼茨，1957，108～109页）

在我标注为【1】的段落中，托勒密首先提到，根据观察者在地球上所处位置的不同，太阳、月亮和星星升起和落下的时间也有所不同。举个例子，想想今天早上的太阳。我相信你明白当太阳在你所在的地方升起时，对住在比你更靠东方的人来说，太阳早已升起，而对住在比你更靠西方的人来说，太阳则还没有升起。托勒密和他同时代的人也明白这个事实，而这个事实最直接明确地解释了地球是球形的。在段落【2】中，托勒密指出人们记录的“食现象”所发生的时间同样很好地解释了地球是球形的，而在段落【3】中，托勒密指出由于时间上的差异与观察者所在位置之间的距离成比例，地球的曲率肯定是相当一致的。

请注意，托勒密在这里所隐含的推理是一种常见的证实推理，我们在第4章中对此进行过讨论。具体来说，托勒密在段落【1】中的推理如下：如果地球是球形的，人们就应该观察到太阳、月亮和星星对住在东方的人们来说会更早升起，而对住在西方的人来说会更晚升起，由于这正是人们所观察到的情形，这就支持了“地球为球形”的观点。段落【2】和段落【3】中的推理与此相似，也就是说，通过直接明确的证实推理，这些事实都支持了“地球是均匀的球形”的结论。

接下来，在段落【4】中，托勒密转而开始进行不证实推理，他认为如果地球不是球形而是其他形状，那么我们就不会观察到实际已经观察到的结果。举个例子，托勒密指出如果地球是平的，我们应该会观察到太阳、月亮和星星在地球上不同地方升起的时间都相同，但是由于我们没有观察到这个现象，这就成了“地球是平的”这一观点的不证实证据。

请注意，截至这里，托勒密的论证过程真的只证明了地球在东西方向上的曲率一致。换句话说，托勒密到目前为止的观察结果与“地球是一个南北向的圆柱形”的观点相一致。因此，为了完成这个论证过程，托勒密开始考虑能够证明地球不可能是圆柱形的证据。在段落【5】中，托勒密指出一个人如果从北向南运动，就会看到不同的星星。举个例子，我们住在北半球的人可以看到北极星，而在南半球的人就看不到这颗星星。同样地，住在南半球的人可以看到南十字星座，而在北半球的人就无法看到。这正是在地球是球形的情况下，人们所能预期看到的情形。如果地球是其他形状，比如圆柱形，那么我们所能预期看到的情况就会与此相反。最后，在段落【6】中，托勒密指出了一个早已为人们所知的事实，那就是如果一个人向陆地航行，首先看到的陆地将会是山峰顶端，然后，随着距离陆地越来越近，山顶以下的部分就会逐渐显现。同样地，这是“地球是平的”这一观点的不证实证据，同时也是在地球是球形的情况下，人们所能预期看到的情形。

总结一下，“地球最有可能的形状是球形”的观点得到了很好的论证。接下来我们将探讨“地球是静止的”观点的论据（尽管它们都是很有力的论据，但后来都被证明是错误的）。

| 地球是静止的 |

在17世纪以前，有很多很有力的理由让人们相信地球是静止的，也就是相信地球既不围绕另一个星体沿某个轨道运动，也不围绕其自身轴线旋转。尽管这些理由后来都被证明是错误的，但是它们的错误之处都不易察觉。

早在古希腊时期，人们就思考了地球围绕太阳运动或以自身轴线为中心旋转的可能性。比如，亚里士多德和托勒密就明确思考了这个可能性。他们和其他人都清楚地认识到太阳显然每天都在围绕地球运动，要解释这个现象，可以假设地球是静止的，这样就是太阳每天绕地球运转

一周，或者假设太阳是静止的，这样就是地球每天沿自身轴线旋转一周。两种假设都可以解释太阳每天绕地球运动的显而易见的现象，在《至大论》中，我们看到托勒密明确考虑了第二个可能性。

然而，托勒密的结论是，“地球在运动”的观点，不管这种运动是绕自身轴线旋转，还是围绕太阳运转，都与一些实实在在的证据相矛盾，因此“地球是静止的”是有更多证据支撑的观点。托勒密给出了很多论据，我称之为常识论据 ，另外还有两个多少有些困难但又非常有力的论据，我分别称之为基于运动物体的论据 和基于恒星视差的论据 。我们将从常识论据开始讨论。

常识论据

请注意，我们是基于常识得出了地球静止的观点（我们的前人也是如此）。举个例子，如果你望向窗外，当然感觉地球是静止的。毕竟，当我运动的时候（比如坐在一辆汽车或火车里时，或骑自行车时），我当然会注意到自己在运动。就算是在相对低速的情况下，比如骑自行车的时候，我也会感受到运动造成的震动，会感受到迎面吹来的风，等等。或者如果你坐在一辆敞篷车里以70英里 [1] 每小时的速度在州际公路上疾驰，毫无疑问，你会知道自己在运动。同样地，你会感受到震动和风，以及其他通常在运动时可以观察到的现象。

现在，假设地球在运动。首先，思考一下地球每天绕自身轴线旋转一周的可能性。地球周长是25000英里（托勒密时代的人们以及生活在古希腊时期的人们都清楚地知道地球大约就这么大）。基于这个周长，如果地球每天绕自身轴线旋转一周，那么在赤道地区，地球表面的运动速度将超过1000英里/小时（如果地球表面要在24小时内运动25000英里，那就必须以这个速度运动）。简言之，如果地球每天沿自身轴线旋转一周，那么在地球表面上的你和我现在就将以大约1000英里/小时的速度移动。然而，即使当我们以一个相对较低的速度运动，比如骑自行车或坐着敞篷车在州际公路上疾驰时，我们也会很清晰地注意到运动产生的效果。所以，毫无疑问，如果我们目前在以1000英里/小时的速度疾驰，那一定会注意到因运动而产生的效果。由于我们没有观察到这样的结果（与托勒密同时代的人们也是如此），这就为“地球沿自身轴线旋转”的观点提供了不证实证据。

如果我们思考一下地球围绕太阳一年运转一圈的可能性，那么上面所描述的情形会变得更加夸张。我们知道地球绕太阳运转的轨道半径是将近100000000英里。（顺带提一句，在托勒密时代，尽管人们并不知道地球与太阳之间的确切距离，但是两者之间距离遥远的事实应该已经是众所周知的了。）考虑到地球与太阳之间的距离，地球运动的速度需要达到大约70000英里/小时才能实现一年绕太阳运转一圈。然而，同样地，我们需要考虑到如果我们坐在一辆敞篷车里，以70英里/小时的速度运动，运动所产生的效果就会非常明显。我们会感受到速度是70英里/小时的风迎面吹来，感受到运动产生的震动，如果我们试图从敞篷

车里站起来，那一定会从车上摔出去，等等。所以，毫无疑问，如果我们是以70000英里/小时的速度在运动，那么一定会注意到运动所产生的某些 现象。然而，70000英里/小时速度的风在哪里？这样快速的运动必然会造成震动，这些震动在哪里？如果地球在以70000英里/小时的速度运动，那么我们怎么可能在地球表面上站着？

简言之，如果地球在运动，那么我们应该能预计看到某些显而易见的效果，由于我们并没有观察到这些效果，我们就有合理的理由认为地球并没有在运动。

让我们再探讨一个常识论据，也是托勒密给出的常识论据之一。我家门前的院子里有一块相当巨大的卵石，大约4英尺 [2] 高，3英尺宽。这块卵石就放在我家前院，一动不动，只有外界力量移动它时，这块卵石才会移动。除此之外，如果我要移动这块卵石，比如用园艺拖拉机来移动它，那么只有在我持续向前推的时候，这块卵石才会持续运动，只要我不再推了，它马上就会停下来。

现在想一想地球。地球大体上可以算是一块巨大的岩石，只是比我家前院的卵石大很多，也重很多。因此，就像卵石只有在外界力量移动它时才会移动，地球也是相同的情况，也就是只有外界力量使它运动时，地球才会运动；就像卵石只有在外界力量持续使它运动时才会保持运动状态，地球也是只有在外界力量持续使它运动时才会保持运动状态。然而，首先，看起来似乎没有什么可以使地球运动起来，其次，即使存在这样的物体或力量，也没有什么可以使地球持续保持运动状态。所以，认为地球是静止的更加合理。

总结一下，即使是这些基本的常识论据，也都为秉持“地球是静止的”这一观点提供了很好的理由。同样地，这些论据也存在缺陷，因为我们知道地球是运动的，不仅以自身轴线为中心旋转，还围绕太阳运转。然而，这些常识论据的缺陷并不是显而易见的，我们的前人用了大量聪明才智，花费了几十年甚至是上百年时间，才搞清楚为什么我们可以一方面以前面提到的速度运动，但另一方面却观察不到任何预计应看到的效果。这些故事都会成为后续章节的一部分。

基于运动物体的论据

基于运动物体的论据是对“地球是静止的”这一观点最有力的支持证据之一。基于运动物体的论据同样源于简单的观察。托勒密指出，下落的物体会垂直落到地球表面。接下来，我会多少修改一下托勒密的论证过程，我将思考一个相反的情形，也就是把一个物体竖直向空中抛出，你会发现物体会垂直于地球表面向上运动，然后竖直落下来，仍然垂直落到地球表面。我这个例子背后的想法与托勒密所举例子背后的想法是完全相同的，不过我认为在把物体向空中抛出的例子中，其背后的想法更容易理解。我们将看到，下落的物体垂直落到地球表面，以及向空中抛出的物体垂直于地球表面向上运动，然后垂直下落，这些都意味着地

球肯定是静止的。

要理解这个论证过程，我们必须先讨论一下关于运动物体行为特征的普遍观点，比如物体运动是因为它们被竖直向上抛出。关于抛出的物体，我将让你思考两个情形，然后请你问问自己，哪个情形更接近于实际发生的情况。

在这两个情形中，我们都想象萨拉站在一块滑板上，手里拿着一个球，随着滑板从左向右运动。在运动的过程中，萨拉把球竖直向空中抛出。在整个过程中，萨拉始终在运动。关键问题是：当球在空中时，萨拉会不会（随着滑板运动）离开球下的位置，从而使球落到她身后？或者会是相反的情形，也就是球会沿弧线运动，重新落进萨拉手中（或至少是靠近萨拉的手的位置）？

如果用示意图来表示，那么这两个情形就分别是图10-1和图10-2的样子。

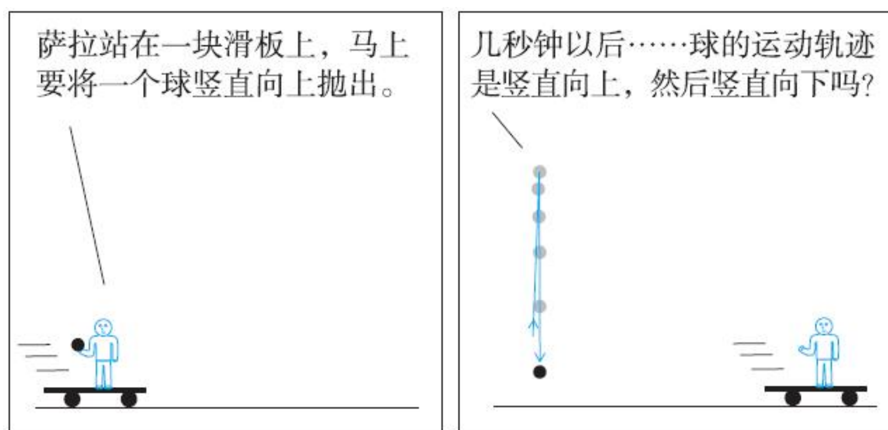


图10-1　球会沿这个路线运动吗

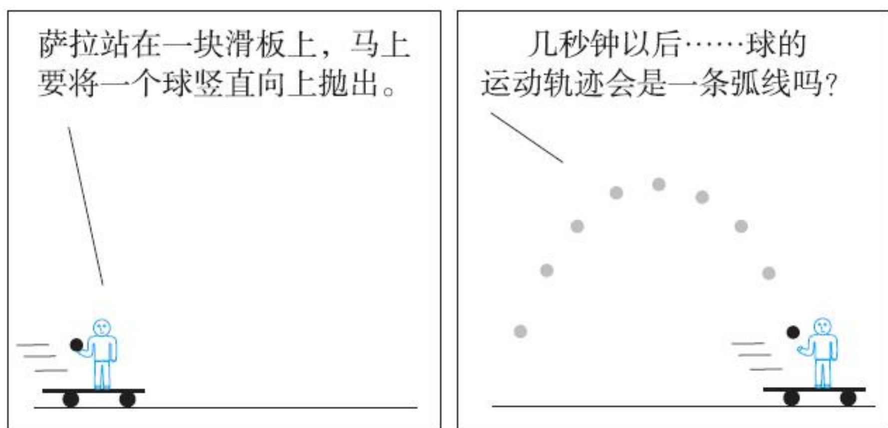


图10-2　还是球会沿这个路线运动

现在的问题是，球是会像图10-1所示的样子，也就是当球在空中的时候，萨拉离开了球下的位置，因此球落到了萨拉身后；还是会像图10-2所示的样子，也就是球将沿弧线运动，几乎落回到萨拉手中。正如我们在前面提到过的，请你问问自己，你认为球会按照哪个路线运动。概括一下，这个问题就是，当我们在运动的时候，向上竖直抛出一个物体，这个物体会落在我们身后，还是会沿弧线运动，然后重新落到我们手中，或落到我们手边的位置？

面对这个问题时，大部分人都会选择图10-1所示的情形，而且确实，这似乎是关于运动的常识性观点。然后重点是，如果你认为那是关于运动正确的观点，那么为了保持逻辑上的一致性，你一定也会认为地球是静止的 。

接下来，我会解释为什么是这样。在前面提到的情形中，运动的来源是不相关的。也就是说，如果萨拉运动的原因是她正穿着溜冰鞋溜冰、正站在一辆疾驰的汽车上、正在骑自行车，或者是其他任何原因，那么这个情形都不会有任何改变。如果萨拉运动的原因是她站在运动着的地球表面，那么这个情形也不会有任何改变。也就是说，如果萨拉运动是因为她站在运动着的地球表面，而抛出的物体运动行为模式是像图10-1所展示的那样，那么当萨拉站在自家前院，把球竖直向上抛出时，她将会离开球下位置（因为她站在运动着的地球表面，所以随着地球在运动），因此球会落到她身后。但是，当我们把一个物体竖直向空中抛出时（或者像在托勒密的例子中那样，我们向下抛出一个物体，让它垂直下落），这个物体并没有落到我们身后。这一点有力地支持了“地球没有在运动”的观点。

这又是一个不证实推理的例子。如果地球在运动，那么竖直抛出的物体应该落在我们身后；然而，我们没有观察到被竖直抛出的物体落在身后；所以地球并没有在运动。

我们在第4章中讨论过，在不证实推理中几乎总是存在辅助假设。在这个例子中，关键的辅助假设涉及对运动的看法。具体来说，考虑了这个关键辅助假设后，这个论证过程应该是这样的：如果地球在运动，同时，如果图10-1中所示的对运动的看法是正确的，那么抛出的物体应该落在我们身后；然而，抛出的物体并没有落在我们身后，所以要么地球没有在运动，要么图10-1中所示的对运动的看法是不正确的。

后来人们证明，地球确实是在运动的，而图10-1中所示的对运动的看法则是不正确的。然而，同样地，就算是在今天，这个对运动的看法仍然是一种常见观点（尽管是错误的），而在亚里士多德世界观占主导地位的时代，这个看法在大部分时间里都是关于运动的广受接纳的观点。关于运动的正确观点，是一代又一代人运用聪明才智，进行了大量工作、花费了大量时间才逐步发展确立的，这个过程我们将在后续章节

进行讨论。然而在这里，值得再次强调的是，尽管托勒密的这个论据最后被证明是错误的，但这个错误的基础是有关运动的一些不易察觉而又十分困难（即使在今天也是如此）的命题。

基于恒星视差的论据

在《至大论》序言的第6部分中，托勒密指出恒星的“角距离”总是保持不变，在接下来的一个小节中，他指出这个事实支持了“地球是静止的”这一观点。同样地，这也是“地球是静止的”这一观点的支持论据中，更令人信服的一个，但是理解起来需要花些力气。

当托勒密指出恒星角距离看起来保持不变时，他所指的就是我们所说的恒星视差。具体来说，托勒密的意思是我们无法观察到恒星视差，而这支持了“地球是静止的”这一观点。要理解托勒密的论证过程，让我们首先来理解视差。

视差是由于观察者的运动（而非物体本身的运动）造成的物体位置的明显偏移。举个例子，假设你在视线正前方一臂距离处竖直握着一支钢笔。保持这支钢笔静止，把你的头从左向右移动，注意钢笔和背景中其他物体的位置发生的偏移。这些物体位置的明显偏移当然是由于你的头在运动，而不是钢笔和背景中其他物体的任何运动。这是视差的一个例子，也就是说，物体位置的明显偏移是由于你的运动。

正如前面提到过的，当托勒密谈到恒星角距离在地球上任何位置都保持不变时，他所指的就是我们无法观察到恒星视差的事实。恒星视差就是由于我们的运动而造成的恒星位置的明显偏移。托勒密所要表达的是，如果地球在运动，不管是绕自身轴线旋转还是围绕太阳运转，那么我们应该观察到恒星视差。然而我们并没有观察到这个现象，所以地球一定没有在运动。

要更清楚地理解这一点，让我们假设地球绕自身轴线旋转。正如前面提到过的，地球周长大约为25000英里，所以如果地球绕自身轴线旋转，那么我们每小时要运动1000英里。假设我们晚上出门，仔细观察几颗恒星的位置，并把它们绘制出来。然后，过了几小时，我们再把同样几颗恒星的位置观察绘制出来。在这两次观察之间，我们已经运动了上千英里（如果地球沿自身轴线旋转的话），所以由于我们已经运动了上千英里，我们应该发现所观察的恒星位置出现了明显偏移（同样地，偏移发生在恒星之间的相对位置上）。也就是说，我们应该能看到恒星视差。但是，我们并没有观察到任何视差。因此，地球肯定没有绕自身轴线旋转，而这也是托勒密要表达的观点。

同样地，如果我们考虑地球围绕太阳运动的可能性，那么情形会变得更加夸张。如前所述，在托勒密的时代，人们并不能很好地估算出地球和太阳之间的距离，现在我们知道这个距离是将近100000000英里，而那时的人们只知道那应当是一个相当遥远的距离。把我们所知的地球

与太阳之间距离的数据用在这个例子上，如果地球围绕太阳运转，那么当我们从自己此时所在的地球轨道上的这个点运动到地球轨道上与我们距离最远的那个点时，我们就运动了将近200000000英里。现在，请回忆一下前面视差的例子，也就是你举着钢笔、观察钢笔和其背景中其他物体位置的例子。在那个例子中，你的头只是移动了几英寸 [3] 就造成了明显可见的视差。所以，如果我们移动了200000000英里，似乎绝不可能观察不到恒星视差。然而，同样地，正如托勒密所指出的，我们确实没有观察到这样的视差，因此我们一定没有在运动。简言之，托勒密基于恒星视差的论据对“地球没有在运动”的观点来说，是一个强有力的、逻辑正确的又有经验为基础的论据。

应该明确的是，这同样是一个不证实推理过程，因此与通常的不证实推理过程一样，在这个论据的表面现象之下总是隐藏着各种各样的辅助假设。在继续阅读下面的内容之前，你可能会想暂停一下，看看自己是否可以找出这个论据中的关键辅助假设。

在这个论据中，关键的辅助假设与距离有关。你可能已经注意到了，在探讨视差的例子（比如你举着钢笔的例子）时，物体位置明显偏移的多少取决于物体与你之间的距离。具体来说，物体距离你越远，其位置的明显偏移就越少。所以，对我们没有观察到恒星视差的一个解释就是恒星与我们之间的距离超乎想象地远。但是，不要忘了如果地球围绕太阳运转，那么从我们自己此时所在的地球轨道上的位置到地球轨道上距离我们最远的那个点之间，距离是非常远的，将近200000000英里，这也是理解我们前人这个推理过程的一个重点。所以，当我们移动了如此之远的一段距离之后，而仍然没有观察到恒星视差，那么恒星应该是在一个遥远到难以置信的地方，我想表达的确实是一个难以置信的，或者说遥远到不可思议、几乎是无法想象的地方。

所以，这里所涉及的推理过程实际上更像是下面这样：如果地球在运动，如果恒星不是在一个遥远到几乎无法想象的地方，那么我们应该看到恒星视差；然而我们没有看到这样的视差，那么要么地球没有在运动，要么恒星在一个遥远到几乎无法想象的地方。

我们已经接近这一小节的尾声了，在这里，我想请你回忆一下在前一章中探讨过的一点，其与我们的前人对宇宙大小的观点有关。他们认为宇宙非常巨大，但那只是以他们自己的标准而言，与我们今天认识到的宇宙大小并不能相提并论。认为宇宙巨大到无法想象，这对你和我来说并没有问题，不过这是因为这个观点与你我从小到大所接触的世界观能够拼合在一起。然而，这个“宇宙巨大到无法想象”的观点却并不能很好地与亚里士多德世界观的观点拼图拼合在一起。因此，考虑到当时占主导地位的世界观，“宇宙巨大到无法想象”的概念实际上并不是一个可行的选项。因此，基于恒星视差的论据就成了“地球是静止的”这一观点的另一个有力论据。

现在我们真的到了这一小节的结尾，我想指出的最后一点是恒星视

差最终被观察到了，那是在1838年，对恒星视差的第一次准确测量出现了，此时距离托勒密撰写《至大论》已经过去了将近1700年。事实上，对恒星视差的观察结果，目前已成为支持“地球围绕太阳运转”的观点最有力的经验证据。

| 地球是宇宙中心 |

如果你认为地球是球形的、静止的，那么地球位于宇宙中心看起来就很自然。确实，“地球是宇宙中心”的观点与其他相关观点的契合度最高。《至大论》序言的第5部分具体论述了托勒密认为地球是宇宙中心的原因。在这一部分中，托勒密引用了多个亚里士多德在《论天》中所使用的论据。托勒密似乎明显支持亚里士多德的这些论据。接下来，我将呈现的内容从某种程度上说是亚里士多德和托勒密两人论据的结合体。

第一个论据，请注意：地球看起来当然是宇宙中心。月球、太阳、恒星和行星看起来全都围绕地球转动，因此既然这些天体都围绕一个共同的中心，也就是围绕地球转动，那么认为地球是宇宙中心似乎是自然而然的。换句话说，地球中心论的观点是最直接明确的观点。（顺带提一下，广为人知的是月球和太阳似乎围绕地球转动，但不那么广为人知的是恒星和行星似乎也围绕地球转动。在下一章中，我们将更详尽地讨论这些天体的运动。）

除此之外，回忆一下，在亚里士多德世界观中，土元素有一种向宇宙中心运动的天然趋势，而火元素则有一种远离中心、向边缘运动的天然趋势。这也就是为什么比较重的物体，比如石头，会下落，而火会向上燃烧。由于地球本身似乎主要由土元素组成，而土元素的天然位置就是宇宙中心，因此地球本身自然会位于宇宙中心。

回忆一下我们前面对运动中的物体所进行的讨论。我指出了，一个物体，比如我家前院的一块卵石，只有在有其他因素使它运动时才会运动。由于地球本身主要由土元素组成，会天然地位于宇宙中心，又由于地球（就像我家前院的大卵石）只有在有其他因素使它运动时才会运动，同时由于似乎不存在可以使地球运动的因素（这点同样可以参考前面的讨论），最合理的结论就是地球天然地位于宇宙中心，而且不会离开这个位置。

“重的物体有一种向宇宙中心运动的天然趋势”的观点提供了另一个支持地球中心论观点的论据。鉴于我们知道（参考前面的论据）地球是球形的，而且在前面也讨论过我们观察发现下落的物体会垂直落到地球表面，因此，我们可以立刻得出结论：地球中心一定是宇宙中心。要理解这一点，设想一下，我们在地球上几个不同的位置分别抛出一个物体。这些物体都会向宇宙中心运动，因此，它们下落的轨迹所指向的就是宇宙中心。由于这些不同的轨迹（这些物体是在地球上不同位置被抛出的）在地球中心交汇到一点，那么地球中心一定也是宇宙的中心。

与“地球是静止的”这一观点的论据类似，请注意前面提到的这些论据与亚里士多德世界观里的其他观点也是相互联系又彼此依赖的。举个例子，刚刚提到的几个论据就依赖于“物体在宇宙中有一个天然位置”的观点。这再次印证了第1章里的观点，也就是在一个观点拼图里，单个观点之间是紧密相连的，不可能在不对整体观点拼图进行实质性改变的情况下改变其中部分观点。

| 结语 |

回到本章开篇时所提出的观点，我们的前人有很合理的理由来相信地球是球形的、静止的，并且位于宇宙中心。关于“地球是球形的”这一观点，我们前人所提出的论据后来被证明是绝对正确的。而关于“地球是静止的”和“地球位于宇宙中心”的观点，他们的论据后来被证明是错误的，但错误的原因却非常不易察觉。正如前面提到过的，后来经过了几十年，甚至是几百年的时间，经过许多在科学史上非常著名的人物所进行的共同努力，才发展出一个可以与“运动的地球”相适应的新观点体系。

至此，我们完成了对“地球是球形的、静止的，并且位于宇宙中心”等观点的主要支持论据的讨论。最终会出现一些证据，表明后两个观点是错误的，而这会使亚里士多德世界观出现严重的问题。同时，正如我们在前面提到过的，最终亚里士多德世界观会被牛顿世界观所取代。重点是，从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变涉及多个关于宇宙结构的理论。基于这一点，接下来我们讨论的主题将是这些理论需要解释的数据，然后，我们将对多个天文学理论进行探讨。

[1] 1英里≈1609米。
[2] 1英尺≈0.3048米。
[3] 1英寸≈0.0254米。

第11章　天文学数据：经验事实

在接下来的几个章节中，我们将陆续研究托勒密、哥白尼、第谷和开普勒等人的天文学理论，随着这些理论的发展更迭，人们对宇宙的看法从旧的亚里士多德方式转变到了更新一点儿的牛顿方式。我们对这些理论的研究意在理解这个转变过程所涉及的某些因素和命题。在人们对宇宙看法转变的过程中，前面提到的几个理论都扮演了重要角色。为了理解这些理论，我们需要对某些数据进行研究，因为这些理论基本都是用来解释这些数据的。

我们在前面的章节中讨论过，不管我们希望从理论中得到什么，理论必须至少可以对相关数据进行解释和预言。换句话说，一般来说，对某个特定的理论，存在一系列相关事实，这个理论应该能够对这些事实进行解释和预言。

除此之外，正如我们在第3章中讨论过的，“事实”这个概念并不像其乍看起来那么直接明了。具体来说，我们提到了，某些事实是相对直接明了的经验事实，最好的经验事实范例就是直接的观察结果，比如，在我所在的地方，我们称为太阳的发光体今天早上6：33从东方地平线上出现了。同时，我们也注意到同样存在哲学性/概念性事实，也就是通常人们坚信不疑的观点，而且经常看起来是经验事实，但实际上更多的是基于某个人的世界观，而不是直接明了的观察结果。

在接下来的两章中，我的主要目标就是解释一些事实，这些事实都与托勒密、哥白尼、第谷和开普勒等人的天文学理论相关，其中既包括经验事实，也包括哲学性/概念性事实。在本章中，我们的重点将是某些更为重要的经验事实，而在下一章中，我们将研究哲学性/概念性事实。

托勒密、哥白尼、第谷和开普勒等人的理论都是天文学理论，所以这些理论必须解释和预言的相关事实，基本都与天文学事件相关。当我说“天文学事件”时，我指的是涉及天体的事件，比如涉及月球、太阳、恒星和行星的事件。这些事件在很大程度上都与人们所观察到的这些天体的运动有关。接下来的内容，并不是一个包含了所有这些天体运动的目录，但是可以让你很好地体会一下，不同天文学理论需要解释和预言的经验事实有怎样的一个范围。

重点是，这一章是关于经验事实的，因此，在谈到运动时，我们关注的重点是人们所观察到的 太阳、月球、恒星和行星等天体的运动。举个例子，当我们谈到火星的运动时，重点并不是火星是沿什么形状的轨道运行的——是椭圆形、圆形，还是其他什么形状。相反，重点是人们所观察到的火星的运动。更具体地说，在夜空中有一个肉眼可见的亮点，我们通常称之为火星，这个亮点以某种方式运动（接下来我们将会更详细地描述这个运动）。因此，当我们谈到火星的运动时，我们谈到

的其实是人们直接观察到的关于这个亮点如何在夜空中运动的直接明确的经验事实。

理解了这一点以后，让我们从人们所观察到的恒星运动开始讨论。

| 恒星运动 |

恒星运动似乎是以一种规律的模式，将近每24小时重复一次。举个例子，假设你身处北半球，晚上9点出门去观察恒星。假设你所关注的是我们称为北斗七星的七个亮点的运动。在夜晚，你会发现北斗七星围绕着被我们称为北极星的亮点做逆时针圆周运动。如果你在那个位置站整整24个小时，当然白天你肯定看不见北斗七星了，不过当夜晚再次降临时，你就会发现很明显北斗七星在继续围绕北极星做圆周运动。24小时后，也就是第二天晚上9点，你会发现北斗七星的位置与前一天晚上其所在的位置非常接近。简言之，北斗七星和其他靠近北极星的恒星似乎都在做圆周运动，而北极星就是这个圆周的中心。而且，这些恒星似乎将近每24小时完成一次围绕北极星的圆周运动。

假设接下来的一天晚上，你又出门，观察比北极星还要远的恒星，比如那些夜幕刚刚降临时靠近东边地平线的恒星。随着夜越来越深，你会发现这些恒星沿一条弧线运动（跟太阳在空中运动时所沿的弧线十分相像），最终从西边地平线落下。同样地，如果你观察整整24个小时，会发现同样的恒星所在的位置与你前一天晚上同一时间看到它们时的位置几乎是相同的。

南半球天空中的恒星同样也在空中沿弧线运动，也就是从东南地平线升起，从西南地平线落下。同样地，这些恒星所在的位置都与24小时前它们最初所在的位置非常接近。

最后，还有两点值得注意。第一，前面所描述的观察，其基础是假设你在北半球观察恒星。如果你身处南半球，你将会看到不同的恒星（比如，北极星你就看不到了），不过恒星的运动模式与前面所描述的模式是类似的。

第二，每颗恒星都会在空中运动（除了北极星，北极星运动的幅度并不特别明显），但它们与其他恒星的相对位置都保持不变。也就是说，恒星以组为单位在夜空中运动。如果你选择具体的一颗恒星来观察并记录它的运动轨迹，你会发现这颗恒星在夜空中与其他恒星的相对位置总是保持不变的。这也就是为什么恒星习惯上都被称为“固定的星星”。它们并不是真的固定在一个位置，因为它们看起来确实是每24小时围绕地球运转一圈，不过这些恒星是以组为单位来运转的，因此彼此之间的相对位置是固定的。

总结一下，我们称为恒星的亮点以一种可预测的模式运动，而这个运动模式早在人类有记录的历史开始之前就已经被发现了。接下来，让

我们来研究一下太阳的运动。

| 太阳的运动 |

太阳最直接明了的运动是它每天在空中的运动。太阳从东方升起，在空中沿弧线运动，在西方落下。距离前一次升起将近24小时后，太阳会再次升起。

除此之外，太阳在东方升起的点的位置在一年之中进行南北移动。在冬至这一天（这是冬季的第一天，是一年之中白天时间最短的一天，一般是12月22日或前后几天），太阳在东方地平线升起的点位于其在一年之中的最南端。在接下来的几个月中，太阳在东方地平线升起的点逐渐向北移动，直到3月22日或前后几天（也就是春分日，是春季的第一天），太阳几乎是在正东方升起，这一天白天和夜晚的时长几乎相等（由于某些复杂的原因，在春分日这一天，白天和夜晚的时长并不是完全相等的，这与主流观点相左，但我们在这里并不需要关注）。同样地，在接下来的几个月中，太阳在地平线上升起的位置继续向北移动，在夏至（标志着夏季的第一天，是一年之中白天时间最长的一天，通常是6月21日或前后几天）这一天来到它所能到达的最北端。然后太阳升起的位置开始向南移动，到了秋分这天（秋季的第一天，通常是9月22日或前后几天），太阳再次几乎从正东方升起。最后，在秋分以后的几个月间，太阳升起的位置继续向南移动，直到12月22日或前后几天，太阳再次从其所能达到的最南端升起，同样地，这又标志着冬季的第一天。这个闭环的运动过程年复一年地重复着，从人类已知的历史之初就是这样了。（顺带提一句，请再次注意一下，我前面描述的情形是基于北半球视角。如果是基于南半球视角，太阳的运动模式是相似的，不过其中某些因素会有所不同，比如季节）。

以上这些运动并不是太阳所进行的唯一运动。太阳在空中与其他恒星之间的相对位置每天都在变化。尽管我们通常不会关注太阳与其他恒星的相对位置，但要记录这个位置并不困难。如果你在日落时分出门，观察在西方地平线上哪些恒星是在日落以后马上就可以看到的，你会发现这些恒星每天晚上的位置都会稍微发生一些变化。如果把这些恒星作为参照点，太阳相对于它们的位置看起来是在向东偏移。换句话说，相对于恒星来说，太阳每天所在的位置都会稍稍向东移动一点。（接下来我们将会看到行星也会偏移。这也就是为什么在占星学中，太阳和行星在一年中不同的时间里会位于不同的星座。因此，举个例子，随着太阳相对于恒星的位置不断向东偏移，可能它在某个月时就位于星座摩羯座附近，所以在占星界，人们可能就说太阳在摩羯座，到了另一个月就在双鱼座了，以此类推。）

对太阳较明显运动的描述就到此结束了。接下来我们将简要研究月球的运动。

| 月球的运动 |

月球的运动要更复杂一些，不过我们只会简要描述其中较为明显的一些运动。在可以看到月球的夜晚（在大多数夜晚我们都可以看到月球，但绝不是每个夜晚都可以），月球像太阳一样从东方升起，在天空中沿弧线运动（这点也与太阳相似），最后从西方落下（并不一定是每天都在天还没亮时就落下）。与恒星和太阳不同的是，月球并不是在前一次升起后24小时再次升起。相反，每天晚上，月球升起的时间都比前一天晚上要推迟一些（推迟的时长在一年之中会有所不同，不过平均来说略短于1小时）。

月球同样经过一系列相位，每稍多于29天这些相位循环一次。这些相位所指的月球有时是月牙，有时是半月，有时是3/4月，还有时是满月，等等。不管月球在某天晚上处于哪个相位，从这一天起，经过稍多于29天的时间后，月球将再次处于这个相位。

像太阳一样，月球相对于其他恒星的位置也会向东偏移，但偏移的速度比太阳快。月球每经过大约27天就回到相对于其他恒星的同一个位置。换句话说，如果你今天晚上出门，把月球相对于其他恒星的位置观察记录下来，然后，经过稍多于27天的时间后，月球将会位于同样的相对位置。

正如前面提到过的，这些绝不是月球所进行的全部运动，但却是比较明显的几类月球运动。现在让我们转向更为复杂的行星运动。

| 行星的运动 |

讨论行星的时候，我们必须非常小心。你我所生活的时代是一个技术主导的时代。我们有幸看到了众多行星的照片，其中有些是由像哈勃太空望远镜这样的技术奇迹所呈现的，而有些则来自于飞到某些行星附近或登陆某些行星的宇宙飞船。

正因如此，提到行星时，第一时间出现在我们脑中的画面，与那些生活在还没有现代科技时代的人们脑中第一时间出现的画面相比，会非常不同。不过，有两点需要记在脑中。第一，我们现在的讨论只是为后面讨论托勒密、哥白尼、第谷和开普勒等人的天文学理论提供背景知识，而这些天文学家中没有一个能接触到我们所能接触的科学技术。第二，我们在讨论的是经验事实，就大多数明确的经验事实而言，它们都是由直接明了的、由观察得来的数据所组成的。

因此，一个相关联的问题是，关于行星，我们有哪些直接的、由观察得来的数据？换句话说，如果我们仅仅依靠直接的裸眼观察，那么关于行星的事实都有些什么？

需要指出的第一点是，在任意一个确定的夜晚，我们称为行星的一

个亮点与我们称为恒星的一个亮点看起来并没有显著的不同。总的来说，恒星和行星看起来非常相像。

顺带提一句，你可能听说过恒星会闪烁，而行星不会。这个说法有一定依据，但是我从来没见过哪个人对夜晚星空没有什么了解却可以根据夜空中的亮点是否闪烁来区分行星跟恒星。只有当你学会了用其他条件来区分行星和恒星后，你才会开始注意夜空中某个亮点是否闪烁。

除此之外，在任意一个确定的夜晚，我们称为恒星的亮点和称为行星的亮点在空中的运动方式是相似的。也就是说，在单独某个晚上，所有亮点，不管是恒星还是行星，它们在夜空中的运动，都像我们在恒星的运动那个部分里所描述的一样。

简言之，如果你不是已经知道了如何分辨恒星和行星，那么在任意一个给定的夜晚你都无法看出两者之间的区别。然而，如果追溯到人类有记录的历史开始之前，我们的前人就发现了夜空中有5个亮点跟其他上千个亮点都有所不同。这个不同点主要是基于这5个亮点的运动模式，但并不是它们在某一个夜晚的运动，而是经过许多夜晚形成的运动模式。（顺带提一句，我们通常认为存在9颗行星，但是直到18世纪，随着望远镜技术的发展，人们所知的行星都还仅仅是那些肉眼观察可见的行星，也就是水星、金星、火星、木星和土星。）

正如前面提到过的，在任意一个给定的夜晚，行星通常看起来（至少是仅用肉眼观察）与恒星并没有什么不同。举个例子，如果你花上几个小时来观察木星，你会发现它随着恒星运动，而且通常看起来与恒星没有任何不同。然而，如果你持续几天或几个星期仔细观察木星，你就会注意到，与月球和太阳相似，木星与恒星的相对位置在不断偏移。一般来说，每天晚上，木星相对于恒星的位置都会比前一天晚上更靠东一点，因此几个星期或者几个月以后，木星相对于恒星的位置就出现了明显的向东偏移。

同样值得指出的是，与恒星不同，行星的亮度变化很大。举个例子，当金星肉眼可见的时候，总是看起来相当明亮，不过有些时候它会比其他时间更加明亮（最明亮的时候，金星看起来像一架正在着陆的飞机上的着陆灯）。其他行星亮度变化并不像金星那么显著，不过尽管如此，5颗肉眼可见的行星都会时常出现亮度上的明显变化。

总之，上面这些就是行星和恒星之间唯一明确的、可观察到的区别。我们称为恒星的上千个亮点彼此之间的相对位置，至少从人类有记录的历史开始，就一直没有发生变化，而且通常每颗恒星的亮度在不同时间点看起来似乎都是一样的，而我们称为行星（行星这个词英文是planet，源于希腊语中“漫游者”这个词）的5个亮点，它们相对于恒星的位置会发生偏移，而且在不同时间点，亮度也有高有低。

任何一个适当的天文学理论都必须可以解释这些观察结果。举个例

子，一个适当的理论必须能够考虑到木星不同的亮度和与恒星相对位置的偏移，必须能够预言明年这个时候木星将会出现在夜空中的什么位置。

由于行星与恒星的相对位置会发生偏移，因此相比之下，预言行星位置比预言恒星位置的难度要大得多。然而，实际情况还要比这更复杂一些。举个例子，尽管通常每天晚上木星相对于恒星的位置都会向东偏移一些，但大约每年有那么一次，木星的位置会有那么几天不发生偏移，紧接着就开始向“错误”的方向偏移，也就是向西偏移。接下来，它会一直向西偏移几个星期，然后再次有那么几天停止偏移，紧接着重新开始向东偏移，持续时间大约又是一年。

行星这种非常有意思的“反方向”偏移被称为“逆行运动” 。所有的行星都有逆行运动，尽管逆行的间隔并不完全相同。木星和土星大约一年有一次逆行，火星大约每两年逆行一次，金星大约每一年半一次，而水星则是大约一年三次。

在构建有较好解释和预言能力的天文学理论时，行星的运动，特别是这个有意思的逆行运动，使行星成了最让人头疼的一类物体。然而，很快我们将看到，理论还是被构建了起来，而且在解释和预言方面都有不错的表现。

在结束之前，还有最后几个关于行星的经验事实值得一提。这些事实看起来微不足道，从某种意义上说，也确实是这样，但是随后，当我们需要判断两个相互竞争的天文学理论哪个更合理时，这些事实将会发挥重要作用。第一，水星和金星的位置从来不会离太阳很远。也就是说，不管太阳在空中的位置在哪里，水星和金星都会在附近。如果你拿着一个一英尺长的尺子，放在距离眼睛一臂远的地方，那也就是金星位置与太阳位置之间（看上去）最远的距离了，水星的距离还会更近。

这个事实的一个推论是，你只能在太阳快要升起时或刚刚落下后看到水星和金星。举个例子，有时候，金星跟在太阳后面，因此当太阳落下以后，金星就会在西方天空中距离日落点不太远的地方。同样地，金星的位置距离西方地平线绝不会大大超出一把尺子的长度，日落后几小时内，金星就会从西方地平线落下。或者，在一年中的某些时候，金星将在太阳前面，在这种情况下，你会看到金星在清晨日出之前升起，最多在几个小时内可见，到太阳升起后，金星就看不见了。

还有一个事实表面上看起来微不足道，但后续在面临相互竞争的天文学理论时，这个事实在支持或反对某个理论的论据中会发挥重要作用。这个事实涉及火星、木星和土星三颗行星的亮度变化与它们进行逆行运动次数之间的关系。正如前面提到过的，所有行星的亮度都会发生变化。举个例子，火星每两年会明显变亮一点。回忆一下，在前面的讨论里，我们提到过火星大约每两年进行一次逆行运动。后来，火星的逆行运动被证明与火星亮度达到最大值的时点之间存在相互关联。也就是

说，火星亮度的最高值总是出现在火星进行逆行运动的时候。木星和土星的情况相仿。它们也是在进行逆行运动的时候达到亮度最大值。

不同的天文学体系对这些看起来微不足道的事实会进行不同的解释。在后续章节中我们将看到，某些体系会用一种更自然的方法来解释这些事实，这在关于哪个天文学体系最好的争论中将成为一个考虑因素。

|结语|

天文学理论必须尊重的经验事实绝不简单，不过相对直接明确。这些事实很久以前就为人所知了，追溯到上千年前，某些人类早期的主要文明对这些事实都非常熟悉。后来人们发现，要用某一个天文学理论来解释这些事实一点儿都不简单。也就是说，要构建一个理论来准确预言和解释所有事实被证明是非常困难的。在开始讨论这样的理论之前，我们需要研究一下这些理论需要尊重的其他一些事实。这些事实是哲学性/概念性事实，与月球、太阳、恒星和行星的运动有关，在相互竞争的天文学理论的争论中扮演重要角色。这些哲学性/概念性事实将是下一章的主要话题。

第12章　天文学数据：哲学性/概念性事实

在这一章中，我们将研究某些关键的哲学性/概念性事实，它们都与我们所关心的天文学理论相关。在这些事实中，发挥着最重要作用的两个事实是我们前面提到过的正圆事实和匀速运动事实。我们在第3章中对这两个事实进行过讨论，在这里，我们将对它们进行更详细的探讨。

正圆事实和匀速运动事实表述起来并不困难。正圆事实是：天体，比如月球、太阳、恒星和行星，沿正圆轨道运动（而不是沿其他形状的轨道运动，比如椭圆形）。匀速运动事实是：这些天体的运动是匀速的，也就是说它们既不加速也不减速，总是保持一个速度运动。

尽管这两个事实表述起来很容易，但如果不理解这些事实所处的背景，你就不能真正理解这两个事实，也不能理解我们的前人对这两个事实有多深信不疑。因此，在本章中，我们的主要目的并不只是简单地理解正圆事实和匀速运动事实，同时还要研究这两个事实是如何与当时更广义的观点体系拼合在一起的。研究这个话题，也可以让我们更好地理解亚里士多德世界观中许多观点拼板是如何拼合在一起的。

首先，我们将研究一个我们的前人所面临的严重的科学问题，随后，将探讨正圆事实和匀速运动事实是如何与这个科学问题的解决方案拼合在一起的。

| 天体运动的一个科学问题 |

在我们上学的时候，会有那么一次（或者通常是几次），我们大部分人都被要求熟记惯性定律，也就是牛顿第一运动定律。这个记忆过程非常有效，以至于我认识的大多数人在多年以后，仍然可以一字不差地背诵这条定律。这条定律通常表述如下。

惯性定律：任何物体在不受任何外力作用的情况下，总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态。

这个定律直到17世纪才被发现，而且是很多人花了大量时间付出巨大努力，才使这个定律得以被清晰准确地表述。伽利略已经非常接近正确的惯性定律了，然后笛卡尔成为将这个定律清晰表述的第一人。后来，牛顿在笛卡尔表述的基础上，将其纳入他本人的科学体系，形成了牛顿第一运动定律。

这个定律很有可能是目前最广为人知的科学定律（或者至少是最广为人背诵的科学定律），为什么得出这个定律要花费这么长的时间？在很大程度上说，是因为这个定律与我们的所有经验都是矛盾的。想想你每天在生活中见到的正在运动的物体。你能举出哪怕一个例子是运动的

物体一直保持运动吗？实际上，在我们的日常经验中，运动着的物体从来不会一直保持运动。它们总会停下来。投出的棒球、飞盘、掉落的物体、自行车、汽车、飞机、树上掉下来的橡果和苹果，以及通常我们所熟悉的任何物体，都会停下来，除非有物体使它们保持运动。

简言之，日常生活的经验会让我们得出一个非常不同的运动定律，事实上，这个运动定律从亚里士多德时代到17世纪一直被认为是关于运动的显然正确的观点。为了便于讨论，我将把这个运动定律称为17世纪前运动定律。

17世纪前运动定律： 正在运动的物体都会停下来，除非有外界因素使其保持运动。

基于日常生活经验，这个运动定律看起来是正确的，而且可以很好地与亚里士多德世界观中“物体有一种向其在宇宙中的天然位置运动的天然趋势”的观点拼合在一起。让我们用一个正在下落的石块为例子。石块主要由土元素组成，而土元素有一种向宇宙中心运动的天然趋势。所以，当石块下落时，使石块保持运动的就是石块向其天然位置运动的内在趋势。尽管石块最终会停下来，通常是因为它被地球表面挡住了，但就算不存在像地球表面这样的东西阻止石块运动，最终，石块也会在到达其天然位置后，也就是到达宇宙中心后停下来。简言之，“正在运动的物体最终会停下来，除非有外界因素使其保持运动”的观点不仅得到了日常生活经验的有力支持，而且可以与亚里士多德观点拼图中的其他观点很好地拼合在一起。

到目前为止，一切都没问题。然而，有一种运动却是有问题的，那就是包括月球、太阳、恒星和行星在内的天体的运动。在我们的日常经验中，只有这些物体是始终在运动的，从来不会停止。而且自人类有记录的历史之初，这些物体的运动就是有规律的，而且不断重复（也就是前一章中所描述的那样）。

然而，如果天体一直保持运动，同时如果正在运动的物体在没有外界因素使其保持运动的情况下都会停止，那么随之而来的问题就是一定存在某种因素使天体一直保持运动。这些天体运动的来源会是什么呢？什么因素可以使月球、太阳、恒星和行星保持运动呢？

关于这个运动的来源，我们可以马上得出一个结论。不管这个来源是什么，如果它本身就在运动，那么就可以让我们充分理解天体的运动。要理解这一点，让我们思考一个典型的运动原因，也就是当我用手指推动钢笔使钢笔在桌面上滚过时，使钢笔运动起来的原因。在这个例子中，运动的来源，也就是我的手指，本身是在运动的。不过，同样在这个例子中，我手指运动本身也肯定有一个原因，因此要充分理解钢笔的运动，我们不仅必须理解钢笔是由于我的手指才运动起来的，还要理解我的手指运动的来源。

总的来说，如果运动来源本身是运动的，那么这个运动一定也有一个来源。因此，要充分理解一个运动，就需要理解这个运动的来源是如何运动起来的。

基于以上讨论，我们无法用任何本身就在运动的运动来源来解释天体的运动。那么，使天体保持运动的原因一定是本身不运动 的运动来源。只有一种运动来源本身不运动，而这种运动来源一般很难想得到，用例子来解释可能是最好的方法。

假设我在一个公园里，看到我的妻子在公园另一边。我叫了一声，“噢，亲爱的！”然后开始向我妻子的方向运动。请注意，我妻子本人可能并没有在运动，她可能甚至并不知道我的存在。然而，尽管她没有在运动，甚至不知道我的存在，我妻子仍然是我运动的原因。她作为一个我所渴望的物体造成了我的运动，因而成了一个本身并没有在运动的运动来源。

再举一个例子：假设你看到房间另一边的地面上有一张20美元的纸币，想要把它捡起来，你就向那张纸币运动过去了。你对那张纸币的渴望成为你运动的来源，在这种情况下，这张纸币就是一个本身并没有在运动的运动来源。

当然，恒星和行星并不是因为我对我妻子的渴望而运动，或因为你对钞票的渴望而运动的。然而，似乎只有在这样的情形中，我们才能得到一个本身没有在运动的运动来源，因此这种涉及对某个物体的渴望的运动来源一定与适用于天体的运动来源相同。

对哪一类物体的渴望可能是天体的运动来源呢？亚里士多德继承了一个传统观点，也就是，认为天空是一个完美的地方。这个传统观点历史非常悠久，以至于我们都不能确定它到底是什么时候出现的。这个完美的特性根植于天空几乎不变的特性里。在天空中，唯一会发生变化的是月球、太阳、恒星和行星的位置。正如亚里士多德在《论天》中指出的：“在过去的全部历史中，根据代代相传的记录，不管是在最远的天边，还是在天空的任何一个部分里，我们都没有发现任何变化的迹象。”

鉴于天空是一个几乎不会变化的完美的地方，唯一绝对的 完美将是“神明”的完美。我由于渴望靠近我的妻子而运动，与此相仿，天体一定是由于渴望模仿神明的完美而运动。对天体来说，要模仿神明的完美，最好的方法就是进行完美的运动，而最完美的一种运动就是沿正圆轨道，保持统一不变的速度进行的运动。

总结一下，“神明”为月球、太阳、恒星和行星提供了运动的来源。神明并不是通过自身运动而成为运动来源，而是因为天体对它们有所渴望。具体来说，天体沿正圆轨道，以统一不变的速度运动，是出于对完美神明进行模仿的渴望。基于当时的时代背景，尤其是对本身不运动的运动来源存在需求，这个对完美神明进行模仿的渴望似乎是对天体永恒

不变的运动的最佳解释。

三点注意

在结束这一部分之前，我还想迅速讨论三点。第一点，我们在前面所使用的“渴望”的概念，对现代人来说是个难以捉摸的概念。就像我们的很多观念和概念是古希腊人所没有的，古希腊人同样也有一些我们所没有的观念和概念。其中之一就是“无意识的渴望”的概念。我更喜欢将这个概念理解成一种自然的、内在的、目标导向的趋势。这个概念与我们现在的任何概念都不同。我们所说的无意识的渴望，主要是弗洛伊德式的无意识的渴望。但是，弗洛伊德式的无意识的渴望只有在其媒介是有意识的这一情况下才适用，因此与古希腊的概念完全不同。总的来说，当你思考行星对沿正圆轨道，以统一不变的速度进行运动的渴望时，千万不要把它想象成行星自己认为“天啊，我当然希望像神明一样，所以我要沿正圆轨道运动”。事实上，“渴望”是一种无意识的渴望，或者更好的说法是，一种自然的、内在的、目标导向的趋势。

第二点，这一点与刚刚讨论过的第一点相关联，在前面我们讨论过，在月下区（也就是月球以下的区域，包括地球）有四种基本元素（土、水、气和火），而第五种元素，以太，则只存在于月上区（也就是在天空中，月球以外的区域）。正是元素以太具有模仿完美神明的无意识的渴望，或者说天然趋势。也就是说，以太的基本性质就是沿正圆轨道，以统一不变的速度进行运动。因此，以太的基本情况与土、水、气和火四种月下区基本元素的情况并没有多大不同。举个例子，回忆一下，土元素有一种天然的、目标导向的趋势（或无意识的渴望），那就是向宇宙中心运动，而这就是土元素的基本性质。这就是为什么——比方说——石块会向下落。因此，同样地，以太也有一个基本性质，那就是沿正圆轨道以统一不变的速度进行运动。这也就是为什么天空中的物体会有其表现出来的运动模式。

第三点，亚里士多德自己关于神明的观念不应该被解读为任何宗教概念。亚里士多德的神明因为要作为天体运动的来源，所以必须是真实的“事物”。因为神明本身不运动但又是运动的来源，所以是“不运动的原动力”。亚里士多德本人关于神明的讨论非常复杂，而且对于他关于神明的著作该如何解读，也存在很多争议。然而，有一点很清晰，亚里士多德认为神明是某种学术完美，更清晰的是，他的神明一点宗教意味都没有。举个例子，这些神明与宇宙起源并没有关系，它们对地球上任何事都一无所知，也不知道我们的存在，因此，向这些神明祈祷毫无意义。在后来的几个世纪里，也就是亚里士多德以后，犹太教、伊斯兰教和基督教的哲学家和神学家多少都把宗教与亚里士多德的观点进行了混合，亚里士多德非宗教的神明就转变成了犹太教、伊斯兰教和基督教传统中的神。这个宗教里的神一直为天体不停歇的运动提供所需的解释。

| 这可以用来解释运动的地球吗 |

在第10章中，我们探讨了“地球是球形的、静止的，并且位于宇宙中心”的观点背后的原因。回忆一下，“地球是静止的，并且位于宇宙中心”的观点，其某些原因与“没有物体可以使地球保持运动”的说法有关。

我常常会被问，与前面类似的说法能否用来解释运动着的地球。如果解释持续运动的天体时，是说天体的内在本质就是持续沿正圆轨道运动，那为什么类似的情况不能适用于地球呢？为什么我们的前人不能说土元素的基本性质是沿圆形轨道进行运动，比如沿围绕太阳的圆形轨道进行运动，然后以此来解释“地球在运动”？

这是个好问题，找到这个问题的答案有助于说明亚里士多德世界观拼图中不同观点之间的相互联系。答案并不是说，“土元素具有一种沿圆形轨道（同样，假设是围绕太阳的一个圆形轨道）进行运动的内在性质”的观点是存在固有矛盾的。毕竟，认为以太具有一种沿圆形轨道运动的内在性质是完全可以的，那么认为土元素也有类似情况，就不会存在固有矛盾。

因此，这个问题的答案就不是沿圆形轨道运动的土元素存在固有矛盾的问题。事实上，要回答这个问题，应该做的是考虑一下沿圆形轨道运动的土元素是否可以与整体的观点拼图拼合在一起。后来，这个关于土元素运动的观点被证明无法与整体的观点拼图拼合在一起，这也就是为什么认为土元素具有一种沿圆形轨道进行运动的内在性质并不是一个可行的选择。

要理解这一点，假设我们尝试接受“土元素有一种沿圆形轨道运动的内在趋势”的观点。请注意，我们因此立刻就无法解释日常生活中许多最常见的现象了。举个例子，我们不能再解释为什么石块会向下掉落。石块想必应主要由土元素组成，被放开的时候，它们沿一条直线向地球运动。但是，如果土元素具有沿圆形轨道进行运动的趋势，那么石块就不应该像这样运动。

同样地，我们也就无法解释是什么使我们停留在地球表面。亚里士多德对此的解释是我们主要由重量大的元素组成，也就是由土元素和水元素组成，这些元素的天然趋势是向下运动，而这就是使我们停留在地球表面的因素。因此同样地，如果我们认为土元素有一种沿圆形轨道进行运动的趋势，那么就无法解释这一点了。

除此之外，“土元素有一种持续沿圆形轨道进行运动的天然趋势”的观点与人们仅通过观察所得的“土元素是最重的元素”的结果相矛盾。地球作为一个由最重的元素组成的大型物体，是到目前为止宇宙中最重的物体。相比之下，以太被认为是一种特殊的、特别轻的（可能是没有重量的）元素。正如托勒密在《至大论》序言中指出的，让宇宙中最重、最难以使其运动的物体进行持续运动并没有多大意义。相反，如果认为宇宙中最重的物体是静止的，而最轻的物体，也就是由以太组成的物体在持续进行运动，就说得通了。

简言之，认为地球因为土元素具有一种沿圆形轨道进行运动的天然趋势而运动的观点，并不是一个可行的选项，因为这个观点不能与整体的观点拼图拼合在一起。更概括地说，不管出于什么原因接受了地球在运动的观点，都需要构建一个全新的观点拼图，也就是一个全新的世界观。最终，会有这样一个世界观被构建起来，但那是在新发现出现以后，而这些新发现大都出现在17世纪。正如我们在前面多次讨论的，构建一个新的世界观，需要很多人发挥聪明才智、花费很长时间、付出很多努力才能实现。

｜结语｜

正如前面提到的，同样也是亚里士多德指出过的，“天空是一个完美的地方”这一观点可以追溯到人类有记录的历史之初。这个观点可以理解，因为在天空中，特别而美妙的物体以一种不变的、不断重复的模式在运动，这些运动模式在几百万年间都没有发生变化。亚里士多德本人也继承了这个传统观点，也就是认为天空是一个完美的地方。后来亚里士多德发展出了自己的观点体系，这一体系比前人的更加完整，其中，“天空是一个完美的地方”的观点被保留了下来。

我们在前面看到了，“天空是一个完美的地方”的观点为人们提供了一种方法来解释天体如何可以保持运动。然而，伴随着这个解释的是“天体一定是沿正圆轨道做匀速运动”的概念。这些事实，也就是正圆轨道和匀速运动的事实因而变得非常根深蒂固。这些事实在我们的前人眼中有多么显而易见，无论怎么强调都不为过。行星沿正圆轨道进行匀速运动成了一个常识，每个人都知道。这些是显而易见的事实，与我们在前一章中讨论过的经验事实相比似乎并没有明显的不同。

从现在回过头去看，我们可以发现正圆事实和匀速运动事实根本不是事实。它们是哲学性/概念性“事实”，是一个看起来像经验事实但后来被证明更多的是深深植根于一个世界观体系的观点。在后续章节中，我们将会探讨这些事实，也就是我们在前一章中讨论过的经验事实和正圆事实及匀速运动事实，是如何进入托勒密体系和哥白尼体系的。

最后，提前透露一下，在本书的第三部分中，我们将看到随着新科学发现的出现，我们所坚持的某些事实，也就是在我们看来显而易见的经验事实，是如何被证明为错误的哲学性/概念性“事实”的。那么，从某种意义上说，我们跟生活在17世纪的前人所处的环境相似。17世纪出现的新发现迫使人们对长期以来认为显而易见的事实进行重新思考，最近的新科学发现也让我们不得不重新思考我们关于所居住的宇宙的某些基本观点。

第13章　托勒密体系

在亚里士多德世界观向牛顿世界观转变的过程中，一个重要的组成部分就是有关宇宙结构的理论之间所进行的相互竞争。在接下来的几章中，我们将研究这个转变过程中的几个核心天文学理论，其中有些是地心说，有些是日心说。我们将从托勒密体系开始。

托勒密体系由托勒密在发表于公元150年的著作《至大论》中进行了具体阐述。本章的主要目的是对这个体系进行概括性介绍。正如前面提到过的，《至大论》是一部内容翔实、极具科技性的著作，共有13卷700多页。我们将首先了解一下关于托勒密体系的背景知识，然后会对体系中的某些细节进行讨论。

| 背景知识 |

与任何其他理论相同，托勒密体系需要尊重相关事实。对托勒密体系来说，相关事实在很大程度上是指我们在第11章中讨论过的经验事实和在第12章中讨论过的与沿正圆轨道进行的匀速运动有关的哲学性/概念性事实。

总的来说，托勒密体系在尊重这些事实方面是成功的。托勒密体系很明确地尊重了正圆事实，因为托勒密所使用的方法全都是以“天体运动只沿正圆形轨道进行”为基础的。接下来我们将看到，托勒密在匀速运动事实方面遇到了一些困难，但是他至少从某种意义上来说尊重了这个事实。

至于经验事实，托勒密体系的表现尤其出色。也就是说，在解释和预言我们在第11章中讨论过的经验事实时，尽管托勒密体系并不完美（几乎没有理论是完美的），但错误也不多。举个例子，如果我们用托勒密体系来预言，比如，明年的今天晚上火星在夜空中的位置，或者我们用这个体系来预言火星下次逆行运动会在何时出现，会持续多长时间，预言的结果会与我们的观察结果非常接近。值得强调的是，在托勒密之前或之后的1400年内，没有其他关于宇宙结构的理论在进行解释和预言方面达到与托勒密体系相接近的程度。因此，正如托勒密的著作题为《至大论》，这个体系确实与这个题目非常相称。《至大论》这个名字出自这部著作的阿拉伯语翻译人员之手，其词根的意思是“最伟大的”。尽管在我们看来这个理论可能有些陈旧，但托勒密体系其实是一个非常令人赞叹的成就。

我们应该花一点时间来澄清一下托勒密做了哪些、并没有做哪些。托勒密的方法以数学为基础，使用了多种数学工具，而且过程十分复杂。不过，托勒密所使用的大多数数学工具并不是他自己创造出来的，而是几个世纪以前就已经存在的。

当然，托勒密也不是第一个在宇宙结构方面提出地心说的人。正如我们前面看到过的，“地球是球形的、静止的，而且是宇宙中心”的观点可以追溯到亚里士多德之前，比托勒密的时代早500年。

因此，托勒密的地心说角度并不是他自己创造出来的，同时，托勒密所使用的数学工具也不是由他自己发展出来的。然而，托勒密所做的是利用这些粗略的概念，并把它们发展成为一个精确的理论，而这个理论则是历史上第一个可以对相关天文学事件进行准确预言的理论。或者换句话说，在托勒密之前，要对天文学事件进行预言，并没有任何合适的理论或方法，最多只有些大致框架。而托勒密体系则是一个经过雕琢的理论，可以准确地进行预言和解释，令人印象深刻。

作为这一小节的最后一点，我想探讨的是，有时你会听说，根据“体系”这个词的标准含义来说，托勒密体系实际上并不是一个体系。从某个意义上说，这个说法是正确的，因为针对不同的天体，托勒密使用的方法都有所不同，而不是一直使用一种统一的方法。举个例子，《至大论》中对火星、金星、太阳等天体都分别有单独的一卷专门进行研究，但并没有对整个宇宙进行统一的、体系化的介绍。从这个意义上来说，你可能会觉得，严格来说托勒密的研究并不是关于宇宙体系的，而是对宇宙中各组成部分独立研究的集合。然而，我会继续使用“体系”这个词来描述托勒密的理论，因为所有这些独立的研究汇总到一起，就形成了一种可以用来对宇宙中所有组成部分进行预言的方法。

了解了这些背景知识，我们将开始对托勒密体系的概括性介绍。为了便于讨论，我们将只关注托勒密对一个行星的研究，也就是对火星的研究。让我们首先了解一下托勒密火星研究的内容，然后探讨一下这些内容背后的基本原理。

| 托勒密火星研究的简要介绍 |

图13-1展示了托勒密对火星研究的关键内容。在托勒密的研究里，火星沿一个点运转，也就是图中的点A。火星运动轨迹形成的圆形，也就是以点A为圆心的一个小圆圈，被称为周转圆 。

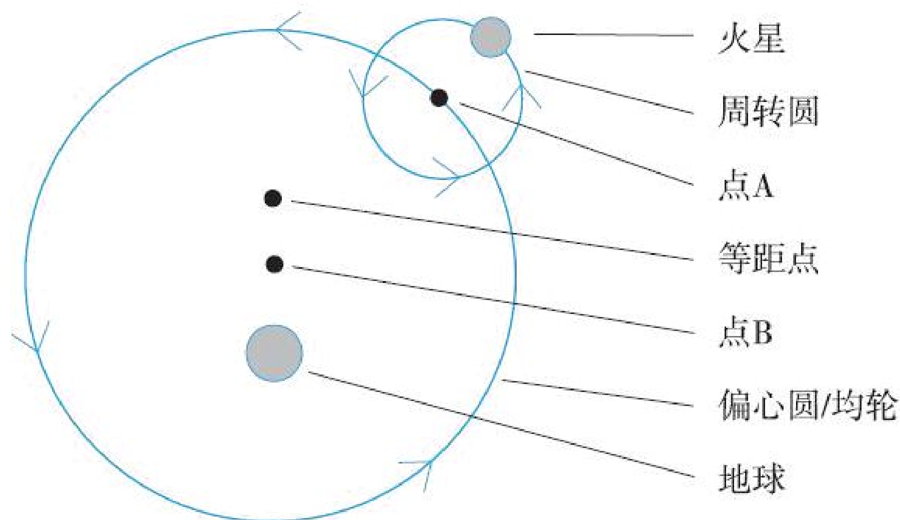


图13-1　托勒密体系对火星的研究结果

周转圆的圆心，也就是点A，沿一个半径更大、以点B为中心的圆圈运转。像这样半径更大的一个圆圈被称为均轮 或偏心圆 ，具体是哪一个，取决于点B的位置是在系统中心（在这里，也就是地球中心），还是与系统的中心相比有所偏移。在图13-1这个具体的例子里，这个圆圈是偏心圆，因为正如你所看到的，周转圆运转所围绕的中心，也就是点B，并没有位于地球中心。

为了说明均轮和偏心圆之间的区别，请注意一下，地球是托勒密体系的中心。也就是说，托勒密体系最远的边界就是恒星球面（这是宇宙的边缘），由于地球是恒星球面的中心，因此地球就位于整个系统的中心了。如果点B刚好与地球中心重合（也就是与系统中心重合），那么这个以点B为中心的半径更大的圆圈就将被称为均轮。在另一种情况中，如果点B不是位于系统中心，就像图13-1所示，那么这个更大的圆圈就将被称为偏心圆。

简言之，均轮和偏心圆的相同之处在于它们都是由周转圆运转轨道形成的半径更大的圆圈。可以认为偏心圆是圆心发生偏移的均轮。

等距点是与火星所在的周转圆运转速度相关的一个点。等距点是最难解释的一个部分，因此当我们要讨论托勒密研究的基本原理时，我才会对等距点进行详细解释。

最后，这一类结构，也就是一个周转圆沿半径更大的一个圆圈运转，被称为周转圆-均轮系统 。为了便于讨论，即使严格来说系统中使用的是偏心圆而不是均轮时，我们也将这个结构称为周转圆-均轮系统。

| 这些研究内容背后的基本原理 |

托勒密对火星的研究结果显然多少有些复杂，其中有圆圈又沿圆圈运转，有圆圈存在圆心偏移，还涉及更加神秘的等距点概念。这些研究结果背后的原因又是什么呢？

首先，我会对周转圆-均轮系统进行一下概括性评述。周转圆-均轮系统非常灵活，因为只需要改变一下其中各组成部分的大小、运动速度和运动方向就可以产生大量不同的运动。也就是说，在任意一个周转圆-均轮系统中，在周转圆和均轮的半径大小上，你的选择非常宽泛，同时对行星在周转圆上的运动速度，以及周转圆在均轮上的运动速度（或在某些情况中是周转圆在偏心圆上的运动速度），你也有多种选择，另外，你还可以选择周转圆和均轮上所进行的运动是顺时针方向还是逆时针方向。

正是基于这种灵活性，你只需要调整前面提到的这些选项，就可以创造出大量不同的运动。举个例子，图13-2所展示的所有运动，基础都是一个周转圆在均轮上运动。虚线代表的是火星运动形成的轨迹，其中火星本身在其周转圆上运动，而周转圆又围绕地球运动。要获得所有这些运动（以及其他一系列种类繁多的运动），只需要改变周转圆的半径、均轮（或偏心圆）的半径和火星在周转圆上的运动速度、周转圆的运动速度等因素。

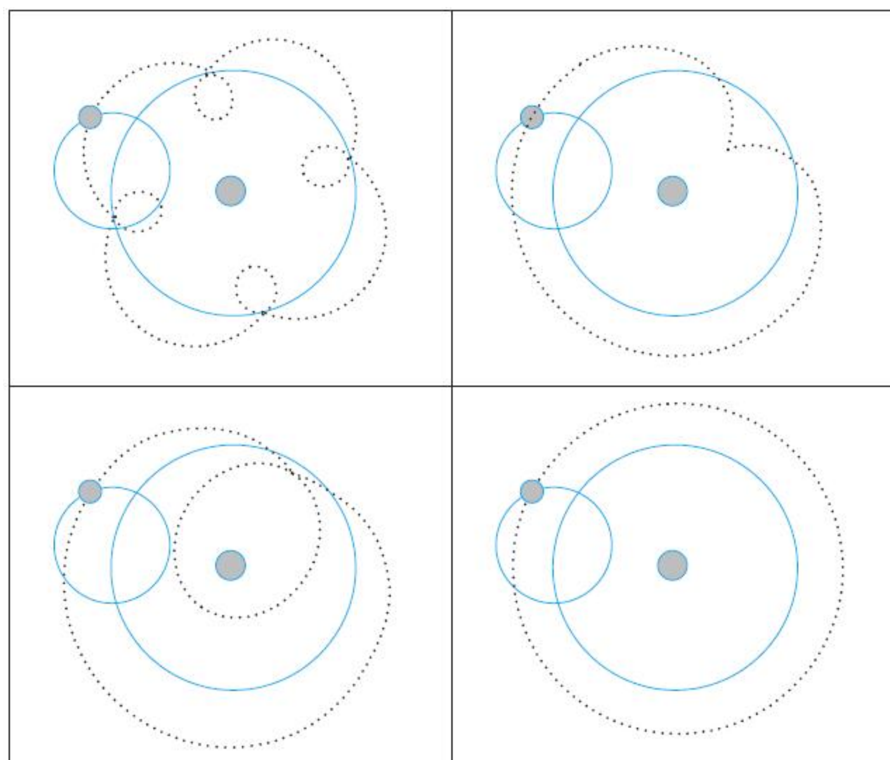


图13-2　周转圆-均轮系统的灵活性

由于有高度的灵活性，周转圆-均轮系统非常有用。不过，除此之外，任何一个地心说理论都需要周转圆（或其他某些像周转圆一样复杂的方法）来解释行星的逆行运动。回忆一下，我们在第11章中讨论过，逆行运动是指行星所进行的看似与其通常运动方向相反的运动。举个例子，火星相对于恒星的位置通常每天晚上都会稍稍向东偏移一点，但是每两年都有那么几个星期，火星相对于恒星的位置会向西偏移，随后会重新向东偏移，并持续两年时间。

要理解周转圆是如何应用于对逆行运动的解释的，假设我们关注的重点是地球、火星和恒星。如果我们以地球为起点画一条视线，穿过火星，到达恒星，这条线所表示的就是，从地球上观察，火星在夜空里相对于恒星的位置（如图13-3所示）。

现在，假设我们想象火星在其周转圆上运动，而这个周转圆则围绕地球转动。如果我们以地球为起点，画几条连续的视线穿过火星，这些视线所展示的就是在一段时间内，在夜空中，火星相对于恒星的位置（如图13-4所示）。图13-4中的数字代表火星连续出现的位置。可以看到，火星相对于恒星的位置，通常似乎是沿一个方向运动。也就是说，数字1到7代表的是火星相对于恒星的位置在进行稳定向东运动。然后，在数字8处，火星开始向西运动。在数字9和10处，火星继续向西移动，然后从数字11到15处，火星重新开始通常的东向运动。一般来说，这就是周转圆-均轮系统解释逆行运动的方法。事实上，如果你坚定地支持地心说体系，且笃信天体沿圆形轨道做匀速运动，那么你就会发现周转圆是解释逆行运动的最好方法。

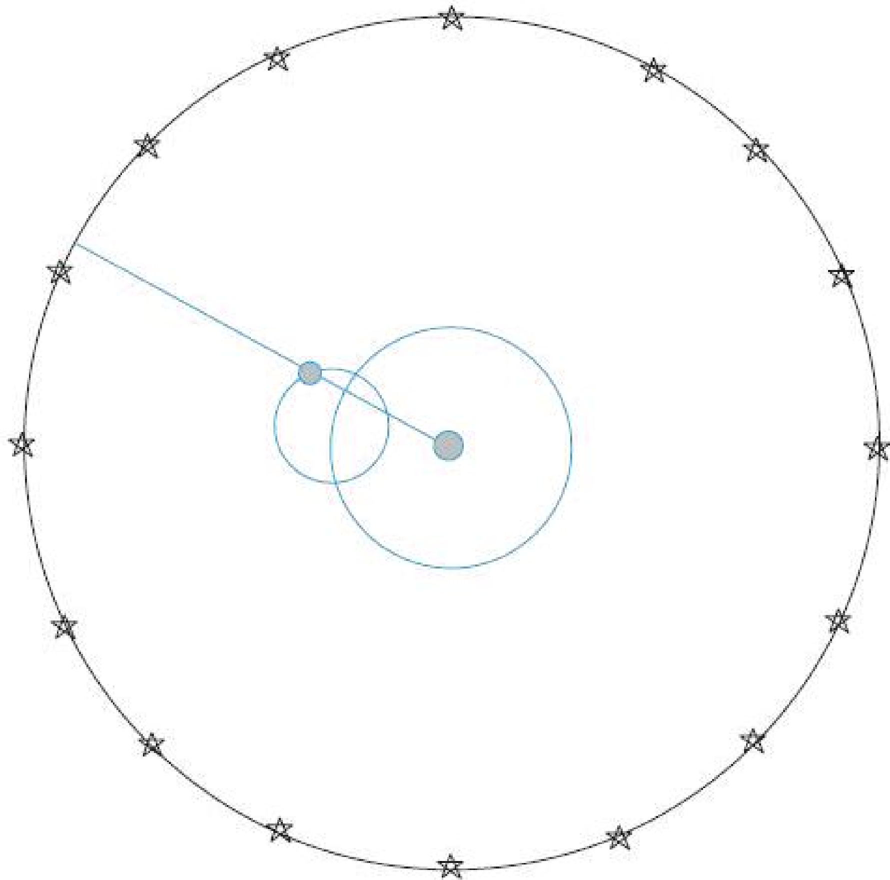


图13-3　火星相对于恒星的位置

顺带提一句，需要注意的是这些图中周转圆与均轮的半径大小和运动速度并不是火星真正的半径大小和运动速度。选择这些半径和速度是为了做一个更简单的说明。不过，通过调整大小和速度（同时使用偏心圆，正如接下来所描述的），你可以得到火星向相反方向运动的现象，从而得出结论，也就是该模型准确预测和解释了火星会在何时进行逆行运动。

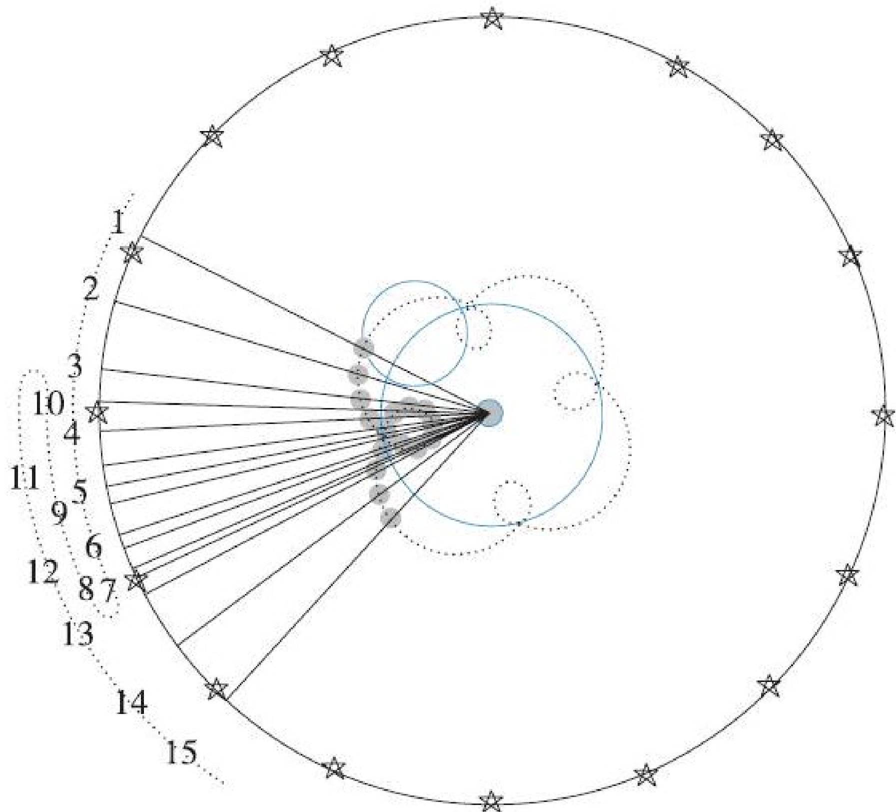


图13-4　托勒密体系对逆行运动的解释

现在，让我们研究一下托勒密为什么使用一个圆心偏离的均轮，也就是偏心圆。原因很简单，如果使用的是一个简单的周转圆和均轮（同样地，均轮就是一个以地球为中心的圆圈），那么你就无法获得一个可以做出准确预言和解释的模型。也就是说，这个模型完全不能完成它所需要完成的工作，也就是做出准确预言和解释。不过，对这样简单的周转圆和均轮组合，可以有两种修改方式，其中任何一种都会形成一个可以对火星运动进行准确预言和解释的模型。

第一种修改方式是在前面图13-1中的周转圆上引入一个额外的小周转圆。结果将会如图13-5所示。这个额外的周转圆给整个模型带来了额外的灵活性。有了额外的灵活性，你现在可以对模型进行调整，从而使其能够对火星进行极为准确的预言和解释。

这种额外的周转圆有时被称为次要周转圆，从而区别于主要周转圆，也就是像图13-1里那个单独的周转圆一样或者像图13-5里那个更大的周转圆一样的周转圆。主要周转圆和次要周转圆之间，不同点在于在解释逆行运动时需要主要周转圆。主要周转圆也提供了灵活性，但是它们的主要功能是用来解释逆行运动。相比之下，次要周转圆在解释逆行运动时并不需要，而是主要用来给系统增加额外的灵活性。

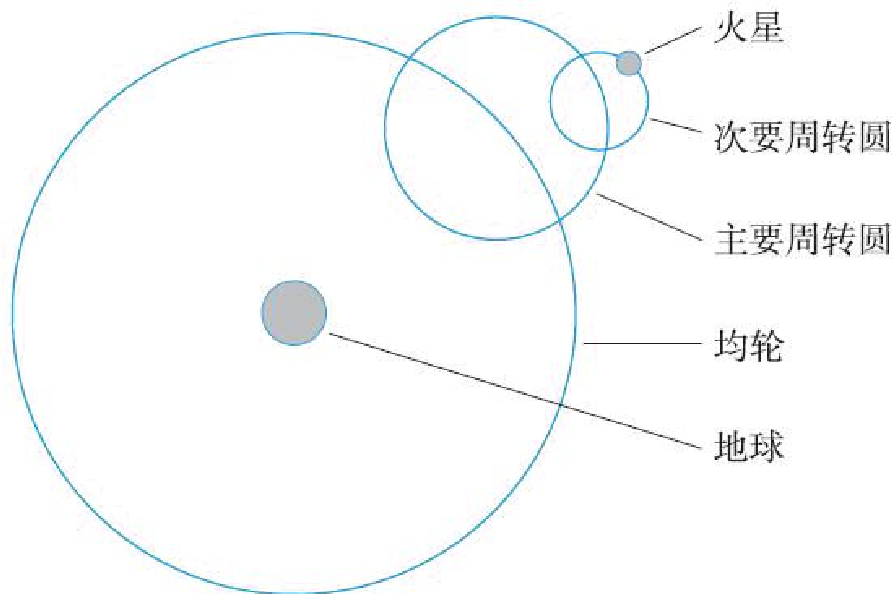


图13-5　次要和主要周转圆

正如前面提到过的，加入次要周转圆是得到关于火星的正确预言和解释的一种方式。另一种修改方式就是使均轮偏离圆心，也就是使用偏心圆。这种方式如图13-1所示。

不管是加入次要周转圆，还是使用偏心圆，任何一种方式都可以使预言和解释重新与观察所得的数据相一致。事实上，两种方式在数学上是等价的，所以会产生同样良好的效果。托勒密选择使用偏心圆，因此他对火星的构建看起来就会像图13-1所示。

最后一个需要解释的研究内容是等距点。这同样与能否获得一个可以正确预言和解释观察所得数据的模型相关。具体来说，这个问题与“匀速运动”这个哲学性/概念性事实相关。回忆一下，托勒密体系所需尊重的两个关键哲学性/概念性事实是正圆事实（天体的所有运动都是沿正圆轨道进行）和匀速运动事实（天体运动的速度是稳定的，也就是不会加速也不会减速）。

如果看一下本章中的示意图，就会发现托勒密体系显然尊重了正圆事实，也就是说，所有运动都是沿正圆轨道进行的。我们实际上只探讨了托勒密对火星的研究，但是，在托勒密的全部构建中，所有次要和主要周转圆、均轮和偏心圆都是正圆形。因此，显然，正圆事实无疑得到了尊重。

匀速运动事实的情况就不同了，它给托勒密体系提出了一个问题。这个问题有时难以理解，因此我们将逐渐深入。

首先，请注意物体运动看起来的速度和方向取决于观察者从哪个角度来观察这个运动。举个例子，假设你坐在一列火车上，有一个包放在你的脚边。从你的角度来看，这个包并没有在运动，因为它与你和你的脚的相对位置没有发生变化。但是，如果观察者并没有坐在火车上，那么从他的角度来看，你的包（以及你和火车上的所有人）在运动。同样地，这个例子说明，物体是否在运动，以及如果在运动，那么运动速度是多少，都是相对于所选择的观察点而言的。

所以当我们思考匀速运动事实，也就是所涉及的运动速度均保持一致的事实时，一个合理的问题是，“相对于哪个观察点保持一致？”对这个问题自然而然的回答是，“相对于这个运动所围绕的中心”，速度保持一致。

如果我们只看火星在其周转圆上的运动，不存在任何问题。这个运动确实是匀速的，也就是，随着火星围绕周转圆圆心运动，火星相对于这个圆心做匀速运动。

然而，现在思考一下周转圆圆心所进行的运动。如果我们提出下面这个问题，“这个运动相对于哪个点来说是匀速的？”对于这个问题，有两个自然而然的答案。第一个答案是周转圆圆心相对于整个系统的中心，也就是地球的中心，做匀速运动。第二个答案是周转圆圆心相对于其运动所沿的偏心圆圆心做匀速运动。

问题是，如果采用以上两个答案中的任意一个，也就是说，如果认为火星的周转圆，其圆心相对于地球中心或者火星的偏心圆圆心做匀速运动，那么这个系统都行不通。当我说系统行不通时，我的意思只是你无法用这个系统做出准确的预言和解释。换句话说，如果托勒密试图以最简单直接的方式来尊重匀速运动事实，那么托勒密系统对数据的预言与解释就无法让人接受。

解决这个问题的一个方法是不再坚持匀速运动事实。然而，重申一下，这个事实早已深入人心，在托勒密之前几个世纪就已存在，甚至早于亚里士多德的时代。除此之外，正如我们在前一章中讨论过的，匀速运动事实与对天体运动的理解紧密相连，因此，不再坚持这个事实就相当于动摇了关于天体运动早已深入人心的一些理解。简言之，不再坚持匀速运动事实并不是一个可取的做法。

托勒密所面对的另一个选择就是让火星运动所沿的周转圆圆心相对于地球中心和偏心圆圆心之外的一个点做匀速运动，而这正是托勒密实际做出的选择。后来证明，火星周转圆圆心沿偏心圆进行运动，在这个偏心圆里，可以经过计算找到一个点，如果火星周转圆圆心相对于这个点做匀速运动，那么这个模型所做的预言和解释将重新与数据一致。这个点就被称为等距点 。

总结一下，火星周转圆圆心相对于一个点做匀速运动，而这个点就

是火星的等距点。不过，这个点从某种程度上说是构建出来的，是为了使系统做出准确预言而计算出来的点，而不是匀速运动一般所围绕的两个中心点中的任意一个。

那么，关于火星运动需要研究的主要内容，我们的讨论就到此为止了。很明显，这是一个很复杂的系统，然而从其令人赞叹的准确程度来说，这个系统确实可行。

丨结语丨

在前面，我们只描述了托勒密体系中有关火星的部分。托勒密对火星的研究结果已足以让我们对托勒密体系有所体会。正如前面提到过的，托勒密对五颗行星、月球、太阳和恒星分别进行了单独研究。托勒密对其他行星的研究，以及从某种程度上说对月球和太阳的研究，都与其对火星的研究有相似之处。也就是说，解释其他行星运动所需的系统与解释火星的系统是相似的（尽管并不是完全相同的），也就是每颗行星都有其周转圆、偏心圆和等距点。解释水星和月球运动所需的系统多少比前面所描述的火星系统更复杂一些，而解释太阳运动的系统，其复杂性多少要低一些。总的来说，很明显，托勒密体系是一个相当复杂的系统集合，其中包括为解释太阳、月球、恒星和行星运动而构建的各个系统。

然而关键是，尽管很复杂，但托勒密体系在处理数据方面表现卓越，是历史上第一个可以准确预言和解释种类繁多、数量巨大的天文学数据的理论。

第14章　哥白尼体系

在前一章中，我们探讨了托勒密体系。我们看到了，托勒密体系在预言和解释相关数据方面相当成功。尽管在托勒密死后的几百年间，其理论得到了修改，但都是些相对较小的修改，因此在接下来的1400年间，占主导地位的天文学理论实际上还是托勒密的理论。

在16世纪，尼古拉·哥白尼（1473—1543）发展出了另一个关于宇宙的理论。哥白尼在16世纪初期发展出了他自己的理论体系，并在去世那一年出版了这个理论。我们在本章的主要目的之一就是探讨哥白尼体系是如何进行解释和预言的。除此之外，我们将对哥白尼体系和托勒密体系进行一个简要的对比，包括讨论哪个体系的宇宙模型更为可行。最后，我们将探讨一下是什么因素促动了哥白尼，而这里的重点将是讨论某些哲学性/概念性观点是如何影响哥白尼的研究工作的。

| 背景信息 |

哥白尼体系是一个日心说体系。今天，我们认为太阳是太阳系的中心，然而值得注意的是，在哥白尼体系中，太阳不仅仅是行星运转的中心；事实上，哥白尼认为太阳是整个宇宙的中心。

哥白尼体系跟托勒密体系在很多方面都是相似的，但是其中地球和太阳的位置发生了对调。举个例子，像托勒密一样，哥白尼认为所有恒星与宇宙中心的距离是相等的，也都镶嵌在所谓的恒星球面上。与在托勒密体系中一样，这个恒星球面就是宇宙最远的边界。哥白尼的宇宙比托勒密的宇宙大，也就是说，哥白尼体系中的恒星球面比托勒密体系的支持者通常所认为的要更大、更遥远，不过与我们现在对宇宙大小的认识相比，哥白尼体系的宇宙与托勒密体系的宇宙一样，都是相对较小的宇宙。同样，与托勒密体系一样，哥白尼体系也运用了周转圆、均轮和偏心圆，尽管这个体系明显不需要等距点。再次说明，总的来说，哥白尼体系与托勒密体系有许多共同点，而最明显的区别就在于太阳和地球的位置不同。

同样值得注意的是，哥白尼与托勒密所面对的经验事实其实是一样的（也就是第11章所讨论过的主要事实）。数据并不是完全一样的——哥白尼和托勒密生活的年代毕竟相差了1400年，在这期间，出现了很多新的天文学观察结果，有些已有的错误观察结果得到了修正，还出现了几个新的但错误的观察结果（这些错误要么是因为观察错误，要么是观察结果记录的过程中出现了错误而造成的）。不过，总的来说，在哥白尼生活的时代，可以在研究中使用的经验数据仍然以肉眼观察为基础，而这些数据与托勒密在研究中使用的数据是非常相似的。

除此之外，哥白尼所坚定相信的哲学性/概念性事实也与托勒密所相信的相同。也就是说，哥白尼（以及几乎所有与他同时代的人）坚定

地认为一个可以让人接受的宇宙模型必须尊重正圆事实和匀速运动事实。

哥白尼体系通常被认为远远简化于托勒密体系，而且在预言和解释方面更胜一筹。不过，很快我们就会看到，这完全是一个错误的认识。哥白尼体系很容易就可以变得像托勒密体系一样复杂，而在预言和解释方面也没有比托勒密体系更好（或更糟）。当有人说哥白尼体系比托勒密体系更为简化且可以给出更好的预言和解释时，他们最有可能想到的其实是开普勒体系，那是一个在哥白尼去世70年以后才发展出来的体系，我们将在下一章中进行讨论。

了解了这些背景信息，让我们开始对哥白尼体系的概述。

| 哥白尼体系概述 |

与我们讨论托勒密体系时一样，为了简化系统，我们将重点关注某一个行星的运动。我们将再次以火星为例，并同样从一幅示意图开始讨论。应该指出的是，图14-1中的圆圈半径大小并不是按比例计算的，而是为了能更容易地进行分辨而确定的。在哥白尼体系中，火星围绕点A沿圆形轨道运转（同样地，像这样的一个小圆圈就被称为周转圆）。点A围绕点B沿圆形轨道运转（同样地，这样的圆圈被称为均轮，或者如果这个圆圈是偏心的，那就是偏心圆）。点B同样在运动，但在运动的同时，它相对于点C的位置保持不变。地球沿偏心圆运转时，偏心圆圆心就是点C（为了简化示意图，图中没有标出地球，但是如果图中有地球，那么点C就将是地球沿偏心圆运转时的偏心圆圆心）。点C沿点D外围的一个圆圈运转，最后，点D围绕太阳沿圆形轨道运转。所以，我说哥白尼体系像托勒密体系一样复杂是有原因的。

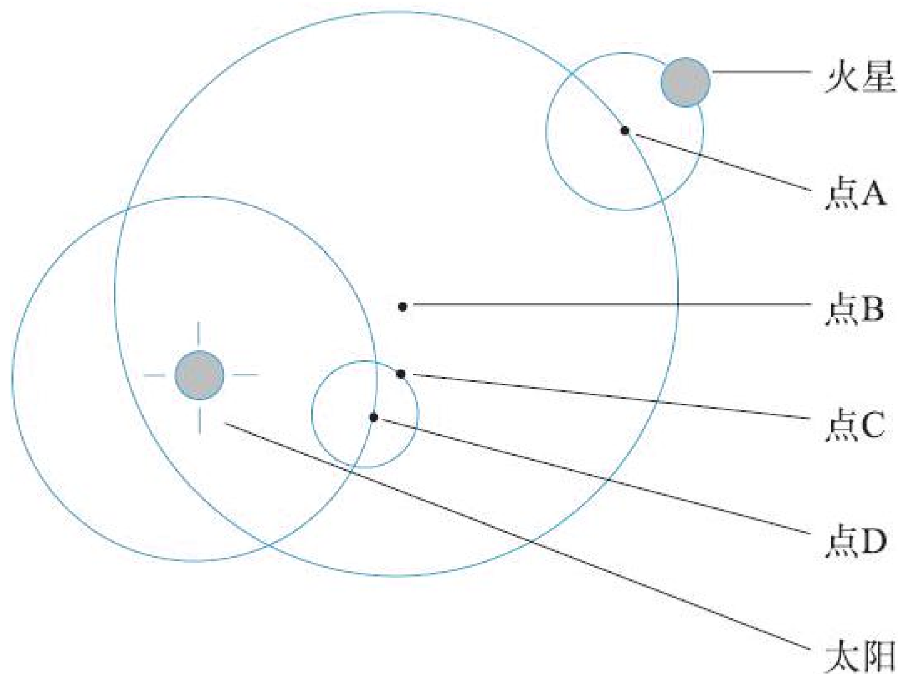


图14-1　哥白尼体系对火星的研究

同样地，与托勒密体系非常相似，哥白尼体系也是一个圆圈围绕圆圈运动的复杂体系，其中使用了周转圆、均轮和偏心圆。然而，请注意，图中没有等距点，事实上，哥白尼体系并不使用等距点。同时，尽管哥白尼体系运用了周转圆，但只是为了利用周转圆所能提供的灵活性，而不是像托勒密体系那样用周转圆来解释逆行运动。

如果我们提出这样一个问题，“为什么哥白尼需要如此复杂的一套设置？”简单地说，答案会是如果没有这样一个复杂的设置，就不能给出合适的预言和解释。换句话说，跟托勒密体系的情况一样，通过使用这样复杂的设置，哥白尼发展出了一个能够很好地给出预言和解释的体系（尽管并没有比托勒密体系更好，但至少是一样好）。如果没有这样的设置，哥白尼就不能够得出与已知数据相符合的模型。简言之，就像托勒密体系一样，哥白尼体系也非常复杂，但是归根结底，这个系统是行得通的，也就是说，它对相关数据的解释和预言可以说是非常准确的。

到目前为止，我们只是讨论了火星的运动。在哥白尼体系中，描述其他外行星时，也就是描述木星和土星时，所需的设置与前面的示意图相似。描述地球所需的设置，复杂程度稍低一些，月球的情况也是如此。最后，解释内行星运动，也就是解释水星和金星运动所需的设置比火星的设置要更复杂一些。简言之，应该明确的是，哥白尼体系可以很容易就变得跟托勒密体系一样复杂。

尊重事实

正如我们在前面几章中讨论过的，不管我们对科学理论还有什么其他期望，它们首先必须能够预言和解释相关数据。因此，也就是说，在解释经验数据的准确性方面，托勒密体系和哥白尼体系实际上是一样的。没有一个理论是完美的，但两者都相当不错。举个例子，如果我们分别用这两个理论来预言一年以后的今天晚上火星会在夜空中的哪个位置出现，或者预言未来10年里每年的夏至具体会在哪天，或者对种类繁多的天文学事件中的任意一件进行预言，两个体系都会给出与事实非常贴近的预言。

至于正圆轨道和匀速运动这两个哲学性/概念性事实，哥白尼体系稍好一些。两个体系都尊重正圆事实，也就是两个体系都认为行星和恒星只沿正圆形轨道运动。然而，我们在前一章中讨论过，托勒密体系只是通过使用等距点这样一个相当勉强的概念才能与匀速运动事实相匹配。相比之下，哥白尼绕过了这个障碍，直接明确地尊重了匀速运动事实。强调一下，尽管这些“事实”对我们来说非常陌生，但是托勒密时代和哥白尼时代的大多数人都对这些事实深信不疑，因此，尊重这些事实是相当重要的。在这一点上，值得注意的是，哥白尼本人认为，不再使用等距点是其体系更胜一筹的重要原因之一。

简言之，在预言和解释经验事实方面，哥白尼体系和托勒密体系几乎没有区别。而在哲学性/概念性事实方面，哥白尼体系更直接明确地尊重了匀速运动事实。

复杂性

在复杂性方面，两个体系几乎没有什么不同。举个例子，如果我们看看两个体系所需要的设置（比如周转圆、均轮、偏心圆等），以及这些设置的数量，那么哥白尼体系几乎与托勒密体系同样复杂。就算像这样的系统复杂性无法精确量化，因而对两个体系的复杂性很难进行准确对比，但是我仍然认为可以得到一致认可的是，两个体系都很复杂，关于复杂程度方面，并没有什么因素可以把两个体系区分开来。

逆行运动和其他更“自然”的解释

回忆一下托勒密体系对逆行运动的解释，也就是对行星偶尔向“相反方向”运动的解释。在托勒密体系中，每个行星都需要一个主要周转圆，其根本目的是解释行星的逆行运动。

相比之下，哥白尼体系对逆行运动的解释则大为不同。我们将同样以火星为例，不过类似的解释也适用于其他行星的逆行运动。

在哥白尼体系中，地球是与太阳的距离排名第三的行星，火星排名第四。除此之外，地球围绕太阳运转两圈时，火星只能围绕太阳运转一圈。因此，地球每两年可以追上火星一次，然后超过火星。在地球经过火星的这段时间里，从地球上观察，火星似乎是相对于背后的恒星在向反方向运动。图14-2可能有助于说明这一点。图中的直线同样是从地球看火星和后面恒星的视线，这些直线可以显示出火星与后面恒星的相对位置。请注意，这些直线通常沿一个方向运动，代表火星与恒星的相对位置通常向东偏移运动。举个例子，从1到3，火星表现出的是其通常的向东运动，而从4到6，火星是向西偏移，最后从7到8，火星又恢复了其通常的向东偏移。

关于逆行运动的话题，回忆一下我们在第11章最后讨论过的一个看似无关紧要的经验事实，也就是火星、木星和土星都是在进行逆行运动的时候亮度最大。再看一下图14-2，我们可以发现为什么会出现这种情况。在哥白尼体系中，火星只有在被地球追上并被赶超的过程中才会进行逆行运动。请注意，在这段时间里，地球和火星距离最近，因此在这段时间中，可以预期看到火星比其他任何时候都要更亮。木星和土星也都是相同的情况，也就是说，这些行星只有在大约与地球距离最近的时候才会进行逆行运动。所以，对火星、木星和土星的逆行运动与这些行星达到自身最大亮度的时间点之间的相互关联，哥白尼体系给出了相当自然的一个解释。

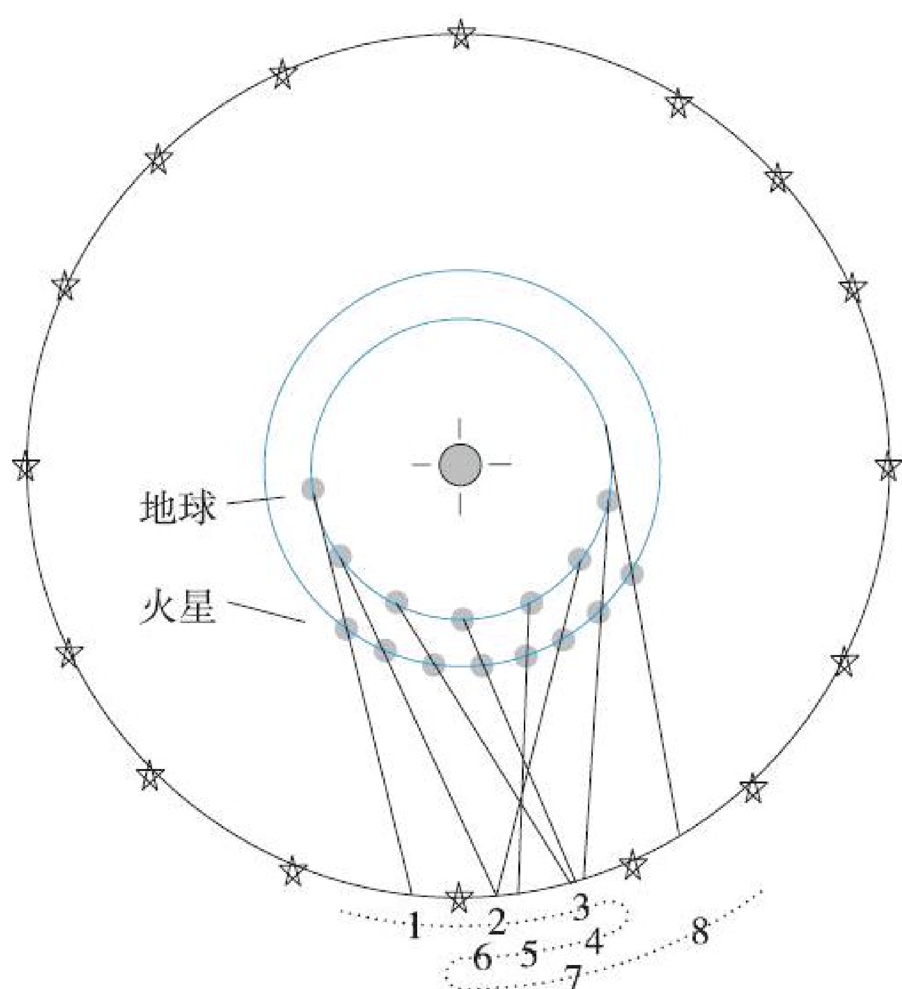


图14-2　哥白尼体系对逆行运动的解释

谈到更自然的解释，同样地，回忆一下另一个看起来无关紧要的经验证据，我们曾在第11章结尾进行过讨论，也就是金星和水星从来不会出现在距离太阳很远的地方。在哥白尼体系中，金星和水星是内行星（也就是说，它们位于太阳和地球之间）。所以，无论金星和水星处于各自围绕太阳运转的轨道上的哪个位置，从地球上观察，它们一定与太阳出现在天空中的同一片区域内。

简言之，对于行星的逆行运动，对于火星、木星和土星逆行运动与这些行星最大亮度之间的相互关联，以及对于金星和水星总是出现在距离太阳不远处的事实，哥白尼体系都给出了更自然的解释，而这些就是哥白尼体系的优势所在。

从现实主义者的角度出发，哪个体系的宇宙模型更为可行

回忆一下我们在前面对工具主义和现实主义的讨论。重申一下，工具主义是看待理论的一种态度，秉持这种态度的人最关心的是理论对相关数据的预言和解释能力有多强。而秉持现实主义态度的人所关心的不仅是理论的预言和解释能力，还有理论是否可以模拟或描绘出事物真实的样子。

几乎所有人都用工具主义态度来对待这些体系中的各种设置，比如周转圆。也就是说，通常人们认为这些设置并不是真实存在的，而是为了进行准确预言和解释所必需的数学工具。所以，现实主义通常不适用于像周转圆这样的设置。

但是对这两个理论中的地心观点和日心观点来说，现实主义就很有意义了。所以，一个有意义的问题是，从现实主义角度来看，哪个宇宙模型更为可行——是托勒密的地心模型还是哥白尼的日心模型？

关于这个问题，当时可用的数据有力地支持了托勒密体系。回忆一下第10章里的论据，它们支持了“地球是静止的，并位于宇宙中心”的结论。这些都是非常有力的论据（尽管最终这些论据被证明是错误的，但错误的原因都很难以察觉），所以关于哪个体系可以与当时最先进的科学更为一致的问题，答案是很明显的：托勒密体系优于哥白尼体系。

总结一下，在预言、解释和复杂性方面，托勒密体系和哥白尼体系是相当的。由于没有使用等距点，哥白尼体系可以说是更直接明确地尊重了匀速运动事实，而且对逆行运动、多颗行星不同亮度与它们逆行运动时间点之间的相互关联，以及金星、水星总是出现在距离太阳不远处的事实，做出了更直接明确的解释。然而，与当时已有的证据相比，也就是与跟托勒密体系更为一致的、支持了“地球是静止的”观点的优势证据相比，这些似乎都是相对较小的优势。

| 是什么因素促动了哥白尼 |

正如在前面讨论中提到过的，哥白尼体系与托勒密体系十分相像。举个例子，两个体系都大量使用了周转圆、均轮和偏心圆。在大多数方面（除了不使用等距点和对逆行运动的解释两方面），哥白尼体系并没有比托勒密体系更好，在某些重要方面（比如，在“地球是静止的”和“地球是运动的”两个观点中，哪一个观点更为合理），哥白尼体系远不如托勒密体系。

所以，如果哥白尼体系只有几个无足轻重的优势，同时因为无法与当时最前沿的物理学保持一致而具有明显劣势，那么到底是什么因素促动了哥白尼来发展他的体系呢？生命短暂，然而哥白尼仍然把一生中大量时间都用来发展这个理论。如果有很好的理由认为地球不可能在运动，那么为什么哥白尼要花费这么多时间来发展一个以太阳为中心、地球围绕太阳运转的体系呢？

这是一个很值得思考的问题，也是一个值得再次强调的问题：哥白尼在几十年间花费了大量时间来发展他的体系，然而，他的体系很明显与所有支持“地球是静止的”观点的证据相矛盾。当时，哥白尼也没有得到任何新的经验证据来支持“地球在运动”的观点。所以，到底是什么因素促使哥白尼花费将近毕生的时间来发展一个看起来似乎不可能正确的理论？

在这一小节中，我并没试图找到这个问题的完整答案。然而，我确实希望表明哲学性/概念性命题是如何推动科学家的研究工作的。目前，有那么一段时间，很多学者都认为哥白尼向新柏拉图主义的倾斜，以及他对正圆事实和匀速运动事实等哲学性/概念性观点的坚持都是促动他发展其日心说体系的关键因素。接下来我们将对这些观点进行一下概括了解。

新柏拉图主义

简单地说，新柏拉图主义就是一种“基督教化”的柏拉图哲学。柏拉图生活在公元前400年，粗略地说，他认为有很多各种各样客观存在，但又没有实体的永恒“形式”。这些形式是知识的客观存在，也就是说，相对于仅仅得到一个信念或观点，当我们得到了知识时，我们的知识就是关于一个或多个这样客观存在，但又没有实体的永恒形式的。举个例子，当我们知道了毕达哥拉斯定理，或数学中的其他真理，我们所得到的知识并不是关于地球上某种物体的（比如，画在纸上的三角形），而是关于一个客观存在，但又没有实体的永恒形式的。

根据柏拉图的观点，这些永恒形式不仅涉及数学真理，还涉及“更高”的形式，比如真理和美的形式（这些形式“更高”不仅在于它们更难以掌握，还因为它们具有更强的重要性）。所有形式中的最高层次是至善的形式。柏拉图几乎没有直接对至善的形式进行过讨论。但是，他确实明确指出这个形式是最高、最重要的形式。

柏拉图并没有试图直接描述至善的形式，而是用暗喻来探讨。具体来说，柏拉图总是用太阳来暗喻至善。举个例子，柏拉图说，就像太阳是所有生命的来源，至善的形式也是所有真理和知识的来源。同样地，在洞穴寓言中，柏拉图描述了一个囚徒逃离了洞穴，并终于可以看到太阳了。在这个寓言中，囚徒代表的是一个热爱智慧的人，他已经完成了学术研究，脱离了无知状态（也就是洞穴所代表的状态），最终理解了最高的真理，即至善的形式（也就是太阳所代表的含义）。简言之，在洞穴寓言中，就像柏拉图的一贯做法，太阳就是对至善的暗喻。

柏拉图去世几百年后，一个名为“新柏拉图主义”的运动把柏拉图哲学与基督教精神相融合。我会忽略新柏拉图主义的大部分细节，只想强调，对新柏拉图主义者来说，柏拉图的至善形式与基督教的“上帝”画上了等号。而太阳，也就是柏拉图对至善的暗喻，也就变成了“上帝”的代表。

作为一个哲学体系，新柏拉图主义经历了西方历史上的多个时期。在哥白尼时代，新柏拉图主义并不是一个冷门哲学体系；然而，把哥白尼和新柏拉图主义联系在一起的证据并不像人们所期待的那么明确。很有可能的是，哥白尼在学生时代接触到了新柏拉图主义思想，而且哥白尼的某些文章读起来就像是出自有新柏拉图主义倾向的人之手。有些学者已经相当认可“哥白尼深受新柏拉图主义影响”的观点；而另一些人则没有那么信服。对新柏拉图主义与哥白尼发展日心说观点之间的联系，通常的解释都是非常直接明确的：如果哥白尼是新柏拉图主义者，而且认为太阳是“上帝”在宇宙中的实体代表，那么“上帝”的实体代表最合适的位置将是宇宙的中心。在这个解释中，为什么哥白尼会秉持一个以太阳为中心的宇宙观，其实主要原因就在于其深受新柏拉图主义影响的哲学性观点。

哥白尼对匀速圆形轨道运动的坚持

大多数天文学家对“恒星和行星的运动必须是沿正圆轨道，且从不加速或减速的匀速运动”的观点有多深信不疑，我在前面很多地方都已经讨论过了。现在回过头去看，这些天文学家的坚持主要是一种哲学性/概念性的坚持。尽管存在少量经验证据支持这个观点（比如，恒星确实看起来沿圆形轨道运动），但是大多数天文学家对这个观点深信不疑的程度已经远远超过了经验证据所带来的支持力度。

正如在前一章中所描述的，托勒密只有通过使用等距点这样一个相当勉强的概念才实现了对匀速运动事实的尊重。我们来快速回顾一下，行星的周转圆，比如火星的周转圆，相对一个想象出来的点做匀速运动，这个想象出来的点就被称为等距点。用一条直线连接等距点和火星周转圆的圆心，这条线将在相同时间内扫过相同的角度，从这个意义上来说，火星周转圆相对于等距点做匀速运动。然而，火星周转圆很明显并没有相对于地球做匀速运动，也没有相对于周转圆运动轨道的圆心做匀速运动。

由于托勒密体系可以很好地解释经验数据，因此它是一个非常有用也非常有价值的模型，几乎所有天文学家都乐于接受这样一个想象出来的等距点。然而，哥白尼并不接受。他对匀速运动事实深信不疑，因而无法接受像等距点这样的一个概念，而对匀速运动事实的坚持也促使哥白尼想要发展出一个不需要等距点的体系。

这就很好地说明了哥白尼是如何在哲学性/概念性事实而不是经验事实的促动下发展出其理论的。后来证明，这并不是特例。在科学史上，哲学性/概念性事实通常都是促使科学家发展新理论的部分因素。因此，从这个意义上来说，哥白尼完全算不上是一位特殊的科学家。

作为这一小节的最后一点，值得注意的是，我们都会秉持这样的哲学性/概念性观点，其中很多在我们的思维方式中都已根深蒂固，因而看起来似乎是直接明确的经验事实。当我们回望历史去找出那些主要算

是哲学性/概念性事实的观点，比如正圆事实和匀速运动事实，是相对比较容易的；看到这些事实如何激发了包括哥白尼在内的科学家也是相对比较容易的。相比之下，要找出我们自己观点中那些伪装成经验事实的哲学性/概念性观点，就比较困难了。随后在这本书中，我们会探讨某些在时间上距离我们更近一些的科学史中的例子，尝试从中找出我们自己对某些哲学性/概念性观点的坚持。

| 对哥白尼理论的评价 |

回忆一下，当时所有的证据都支持“地球是静止的”这一观点，因此似乎哥白尼的理论完全没有可能是正确的。考虑到这一点，你可能会认为哥白尼的理论在发表之后并不会受到重视，当然也就不会被广泛阅读或探讨。

然而，事实上，从哥白尼去世（也就是他发表其体系的同一年）后几年开始，一直到16世纪末，哥白尼的理论被广泛阅读、讨论、纳入课堂，并运用到实际生活中。造成这一情况的部分原因是，哥白尼体系是自托勒密体系以后，在15世纪里发表的第一个全面、复杂的天文学体系。哥白尼体系引起当时人们的重视是有道理的，而哥白尼更被许多人称为“托勒密第二”。

另一个原因与制作天文学表格有关。这些天文学表格就是像托勒密体系这样的天文学体系在现实生活中的一个实际应用。做一个类比可能有助于说明这一点。假设我需要了解某种天文学事件，比如，假设我计划傍晚时出门办事，需要知道太阳什么时候落山。我利用现在最先进的天文学理论来计算出日落时间是完全有可能的，但是这么做会特别麻烦。因此，我将用一个更简单的办法，也就是我很有可能会上网搜索关于日落时间的信息。

我在网上（或从其他渠道，比如从当前的天文年历中）找到的关于日落时间的数据来自当前的天文学理论，不过编纂出这些数据的人们其实进行了大量辛勤的工作。天文学表格与此多少有些相似。它们源自于当时最好的理论，而这个最好的理论在我们的大部分历史上都是托勒密理论，有了这些表格，需要天文学数据的人们可以把它们当作一个数据来源。

在16世纪，人们急需一套新的天文学表格（前一套表格产生于13世纪，当时已经过时了）。后来证明，做出新一套表格的这位天文学家正是以哥白尼理论为基础的。同样地，由于在预言和解释方面，哥白尼体系和托勒密体系实质上是等价的，这位天文学家本来也可以使用托勒密体系，会得到一套几乎一样好的表格。但是，他使用了哥白尼体系，这使哥白尼体系得到了推广，并且威望大增。

因此，在16世纪下半叶，哥白尼体系已广为人们所知、所读，并成为欧洲大学中广泛教授的内容。然而，重点是，几乎所有人都用工具主

义态度来看待哥白尼体系。也就是说，除了少数一些例外情况（当时存在某些新柏拉图主义者和少数其他人用现实主义态度看待哥白尼体系），哥白尼体系都被当作一个实用工具，并没有人认为它是对宇宙真实情形的反映。简言之，在16世纪晚期，托勒密体系和哥白尼体系和平共存。（至少，在天文学家之间，情况确实如此；一些强烈反对哥白尼体系的宗教领袖对哥白尼体系进行了攻击，不过是出于宗教原因，而不是经验原因。）总的来说，在天文学界，托勒密体系都被用现实主义态度来对待（或者至少，其中关于地球是宇宙中心的部分是一直被用现实主义态度来看待的），而哥白尼体系则被用工具主义态度来对待。也就是说，哥白尼体系被认为是一个有用的系统，但并不是对宇宙真实情况的反映。

| 结语 |

在这一章中，我们概括研究了哥白尼体系，把这一体系与托勒密体系进行了对比，探讨了促使哥白尼发展这一体系的因素，讨论了当时的人们对哥白尼体系的接受情况，并发现尽管在16世纪末期天文学家都用工具主义态度来看待哥白尼体系，但这一体系还是得到了广泛接受。我们的这些研究和讨论是相当简短的，用非常短的篇幅涵盖了诸多话题，但这样做应该至少让你对哥白尼体系和围绕这一体系的某些关键命题有了一些体会。

这个相对和平的形势将在17世纪初发生天翻地覆的变化。那个时候，望远镜已问世，并带来了新的天文学数据，这是自人类有记录的历史以来第一次出现这种情况。在接下来的两章里，我们会简要探讨两个更关键的天文学体系，然后再对望远镜带来的新数据进行研究。

第15章　第谷体系

在这个简短的章节中，我们将对第谷的天文学体系进行概述性的了解。这个体系从某种程度上说是部分托勒密体系和部分哥白尼体系的混合体。由于第谷体系实际上是对人们已熟知的内容进行重新编排，而不是引入新的内容，因此我们可以很迅速地进行大致了解。首先，我们将进行一个简要介绍。

第谷·布拉赫（1546—1601）是16世纪下半叶备受尊敬的一位天文学家。他的主要贡献是发展出了现在被称为第谷体系 的天文学体系，并且在几十年间给出了非常精确的经验性观察结果。第谷的天文学观察结果在开普勒体系的发展过程中发挥了非常关键的作用，不过我们将在下一章中讨论这个命题。现在，让我们简要研究一下第谷的天文学体系。

与当时大多数天文学家相同，第谷非常熟悉哥白尼体系。第谷也承认，相较于托勒密体系，哥白尼体系在某些方面更有优势。正如前面提到过的，哥白尼体系的某些方面比托勒密体系更为优雅。举个例子，在前一章中我们讨论过，哥白尼体系对逆行运动的解释要优于托勒密体系的解释。

然而，与当时大多数天文学家相同，第谷也发现大多数证据所指向的结果都是地球是静止的，因此，从现实主义者的角度来说，哥白尼体系不可能是正确的宇宙模型。于是，第谷凭借自己的能力发展出了一个体系，其中既包括了大多数哥白尼体系得到认可的优势，又保留了“地球是宇宙中心”的观点。

根据第谷体系，地球是宇宙的中心，恒星球面同样被定义为宇宙边界。月球和太阳围绕地球运转，但行星围绕太阳转动。也就是说，尽管地球是静止的，而且是宇宙中心，月球和太阳都围绕地球运转，但是行星运动的中心是太阳。如果用一张示意图来表示第谷体系，略去像周转圆这样的内容，那么就会如图15-1所示。从描述或者示意图来看可能并不明显，但是实际上，从数学角度来看，第谷体系是等同于哥白尼体系的。也就是说，用数学的方法把哥白尼体系转化成第谷体系是完全有可能的（反之亦然）。基于这一点，第谷体系在预言和解释我们在第11章中讨论过的经验数据方面，与哥白尼体系是等效的。具体来说，与哥白尼体系的情况完全相同，第谷体系对经验数据可以进行解释和预言，但也并不完美。

正如前面提到过的，第谷体系得到认可的一个优势是它保留了哥白尼体系的优势，同时也保留了“地球是宇宙中心”的观点。因此，尽管第谷体系在我们看来多少有点奇怪，但它实际上综合了托勒密体系和哥白尼体系这两者最为人们所认可的特点。

除此之外，第谷去世后不久，望远镜问世，带来了更多新的证据，

表明至少某些行星是围绕太阳运转的。第谷体系因而成了一个理论选项，使人们既可以根据最新发现的证据接受行星围绕太阳运转的事实，同时又可以继续根据我们在第10章中讨论过的证据和论据来认为地球是静止的。简言之，当同时面对地心说和日心说的一些让人难以抗拒的特点时，第谷体系提供了一个可行的妥协方案，从而同时保留了两者的这些特点。

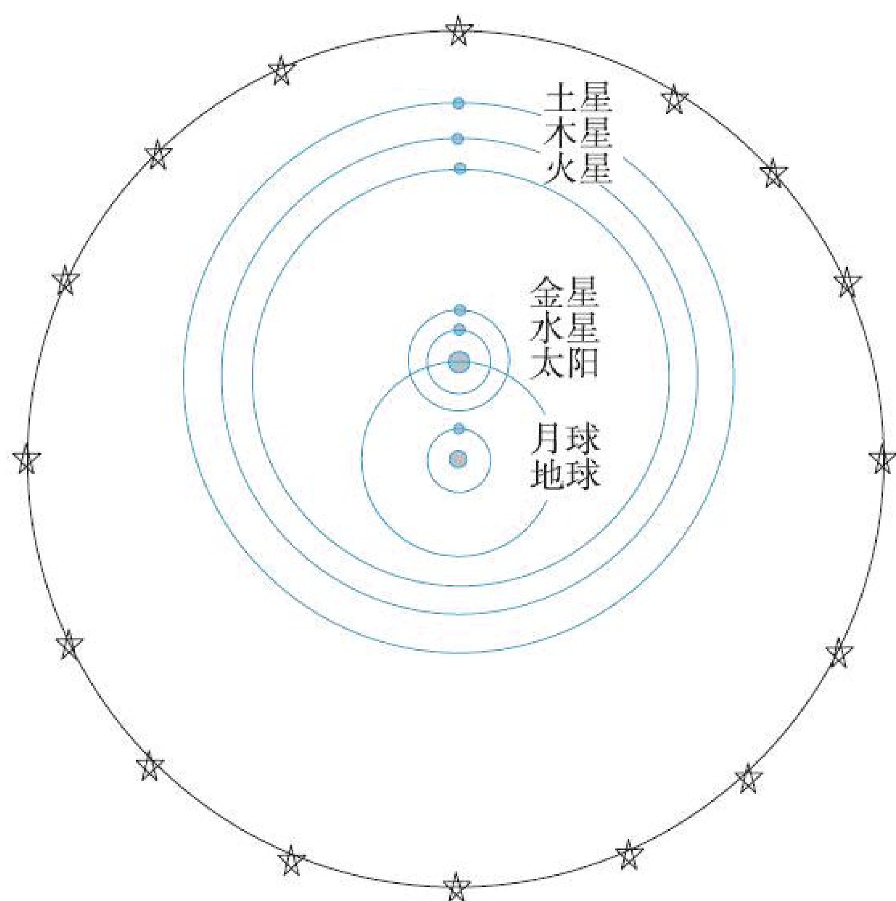


图15-1　第谷体系

除了以上的简短介绍，另外值得一提的是，第谷体系在今天仍然是一个活跃的理论。在过去10年间，至少有4本相关著作问世，它们都为第谷理论辩护，认为这是宇宙的正确模型。仍有为数不少的人继续认为地球是宇宙中心（其中大多数人，包括前面提到的几本著作的作者，之所以会有这种想法都是源于对某些宗教文献的字面解读）。而且，如果对地心说观点深信不疑，那么第谷体系将是最好的理论选择。

至此，我们就完成了对第谷体系的概述。我们将再讨论一个重要的体系，也就是开普勒体系，然后开始研究随着望远镜的问世而出现的新

证据。

第16章　开普勒体系

在本章中，我们将探讨由约翰内斯·开普勒（1571—1630）提出的体系，并研究某些对开普勒有促动作用的因素。我们将看到，开普勒实际上“得到了正确的答案”。也就是说，开普勒最终提出了一个体系，不仅在预言和解释方面完全准确，而且比其他任何可选体系都要简单得多。除此之外，从现实主义者的角度来看，开普勒体系似乎描述的正是月球和行星真正的运动模式。

开普勒是个有趣的人物。我们将研究的不仅是开普勒所发展的体系，还有促使他发展新体系的某些原因。就像我们在对哥白尼的讨论中所看到的那样，其中一些原因所涉及的因素在我们看来与其说是科学范畴的，不如说是哲学/概念范畴的。在研究这些原因之前，我们将首先探讨一些背景材料。

| 背景信息 |

开普勒生于1571年，也就是哥白尼体系发表几十年后，同时也是可以提供新经验数据来支持日心说观点的望远镜发明几十年前。在快30岁时，开普勒开始为我们在前一章中简要讨论过的天文学家、观察家第谷·布拉赫工作。开普勒与第谷合作的时间不长，因为第谷在开普勒加入后不到两年就去世了。然而，第谷对开普勒最终发展出其体系产生了关键性的影响。基于这一点，接下来我将简要探讨第谷对开普勒的影响。

第谷·布拉赫的经验观察

正如在前一章中提到过的，第谷的主要贡献是发展出了第谷体系，以及他准确到超乎寻常的经验观察。在前一章中，我们简要探讨了第谷的天文学体系。然而，事实上，第谷的天文学观察对开普勒最终发展出其体系产生了更重要的影响。

简单来说，第谷是至此为止在那个时代里最谨慎、准确和勤奋的观察者，就这一点而言，他很有可能是人类历史上仅靠肉眼进行观察的人中最为优秀的一位了。在20年的时间里，第谷收集了关于太阳、月球和行星运动非常准确的数据（其准确性实际上已经达到了肉眼观察所能达到的极限），特别是关于火星，他收集了大量关于火星观测位置的数据，而且从很大程度上说，在开普勒发展其体系时，这些关于火星的数据是一个关键因素。

第谷和开普勒

第谷去世后，开普勒获得了第谷积累的部分关键数据，而且从很大程度上说，正是因为获得了第谷的数据，开普勒才有可能发展出自己的

体系。

不过，这绝非是说开普勒的研究工作是根据第谷数据所做的简单或直接推断。开普勒为了发展自己的体系进行了异常努力、认真的研究，在这个过程中，仅为了找到正确的方法，开普勒就花费了多年时间。

第谷的数据让开普勒相信，托勒密体系、哥白尼体系和第谷体系都无法做出完全正确的解释和预言。在涉及火星的数据上，问题尤为突出，因为这些体系中没有一个可以很好地解释火星相关的数据。基于这一点，开普勒明确地认为这些体系都不是特别正确。

开普勒开始研究一个新的方法，关注的重点就是火星的运动。值得注意的是，开普勒的方法是一种基于日心说的方法。开普勒对日心说观点的偏爱，部分源于他的学生时代，那时他的老师是哥白尼体系的一个热情支持者。这段经历使开普勒很早就开始用日心说观点来看待这个宇宙，因此，当他开始研究新方法的时候，这个方法就是基于日心说的。

顺带提一下，此时用“体系”来指代开普勒的研究成果多少有些不恰当，因为他早期研究工作的重点仅仅是对火星运动进行解释。然而，最终，他将对火星的成功研究推广到了其他行星、太阳和月球上，那时把他的研究成果称为“体系”就合适了。为方便起见，我仍将使用“开普勒体系”这个术语，但同时你要明白一个完整的体系实际上是多年以后才形成的。

与几乎所有和他同时代的人相同，开普勒最初也坚定地相信正圆事实和匀速运动事实。因此，他花了相当长的时间来尝试修正哥白尼体系，保持太阳位于宇宙中心、宇宙中所有运动都是沿正圆轨道进行的匀速运动的状态。实际上，开普勒也确实对哥白尼体系进行了某些重要改进。

然而，到了17世纪初期，开普勒意识到所有以匀速运动为基础的体系都无法解释已观察到的火星运动。此时，他开始研究其他使火星可以在其轨道不同位置上以不同速度运动的体系。不久以后，开普勒得出类似结论，也就是所有仅以正圆轨道为基础的体系也都无法解释已观察到的火星运动，因此，他开始探索不同形状的轨道。

请注意，重点是，开普勒此时已摒弃了两个关键的哲学性/概念性事实，也就是正圆事实和匀速运动事实。接下来，我们将探讨某些因素，正是基于这些因素，开普勒才可以比在他之前的大多数天文学家都更容易地考虑到沿正圆轨道进行的匀速运动之外的运动。不过，现在，我们将继续对开普勒研究成果的概述。

最终，开普勒发现，椭圆轨道和行星以变化的速度沿椭圆轨道围绕太阳运动，可以完美地解释火星的数据。在1609年，开普勒发表了他关于火星运动的模型，也就是火星沿椭圆轨道以变化的速度运动，不久之后，开普勒把这个模型扩展到了其他行星。现在，我们将更详细地研究

一下开普勒的模型。

| 开普勒体系 |

让我们首先更详细地研究一下开普勒的两个关键性创新，也就是椭圆轨道和变速运动。

你可能知道椭圆形是一种拉长了的圆形。对椭圆形可以进行精确的数学描述，但是要直观地看到椭圆形，最简单的一个方法就是想象你用两颗图钉把一根皮筋的两端固定在了一张白纸上。现在，想象你用一支铅笔把皮筋拉紧，然后让铅笔围绕图钉运动，在这个过程中保持笔尖一直在纸上，最后铅笔画出来的图形就是一个椭圆形。图16-1可能有助于你理解。图钉所占据的点被称为椭圆形的焦点 。我们在前面提到过，开普勒的第一个创新就是让行星围绕太阳沿椭圆形轨道运行，太阳所在的位置就是椭圆形的两个焦点中的一个。举个例子，火星的运行轨道将如图16-2所示。在这个示意图中，为了更好地进行说明，我将椭圆形进行了夸张处理。

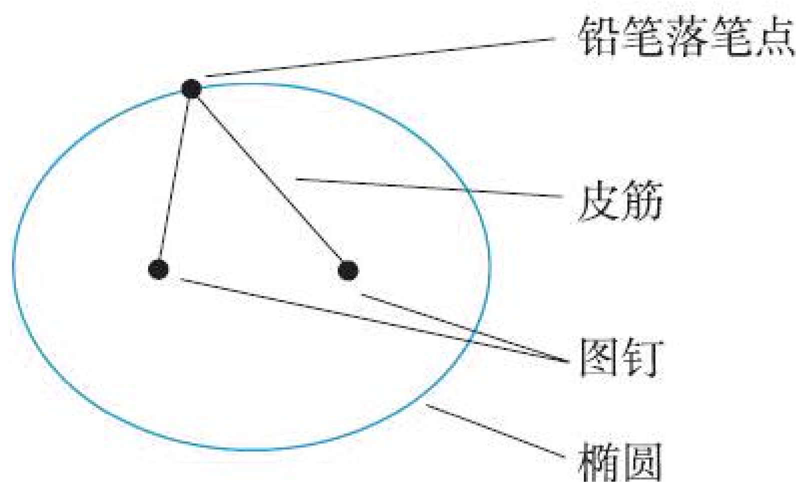


图16-1　椭圆形

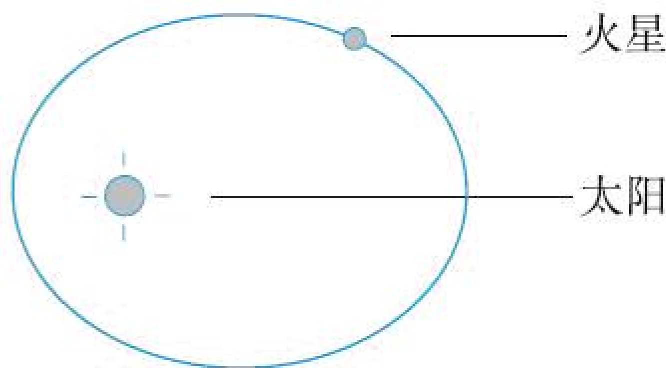


图16-2　开普勒体系中的火星轨道

对行星轨道的这种描述，也就是“行星围绕太阳沿椭圆形轨道运转，太阳占据椭圆轨道两个焦点之一的位置”，通常被称为开普勒行星运动第一定律 。

开普勒的另一个主要创新是让行星在沿其轨道围绕太阳运动的过程中进行变速运动。更具体地说，根据开普勒体系，如果以行星为起点画一条直线把太阳连接起来，这条直线在相等的时间内扫过的面积相同。这个对行星运动速度的描述就被称为开普勒行星运动第二定律 ，图16-3中的示意图是对此最简单的说明。要理解开普勒第二定律，假设有一条直线将火星和太阳连接起来。在从1月1日到1月30日的30天内，这条线会扫某个面积（也就是图16-3中的面积A）。根据开普勒第二定律，在另一个30天的时间内，这条线将会扫过相等的面积。举个例子，在从11月1日到11月30日的30天内，这条线会也会扫过某个面积（也就是图16-3中的面积B）。根据开普勒第二定律，面积A和面积B的大小将会是相等的。一般来说，连接行星和太阳的直线将在相等的时间内扫过相等的面积。

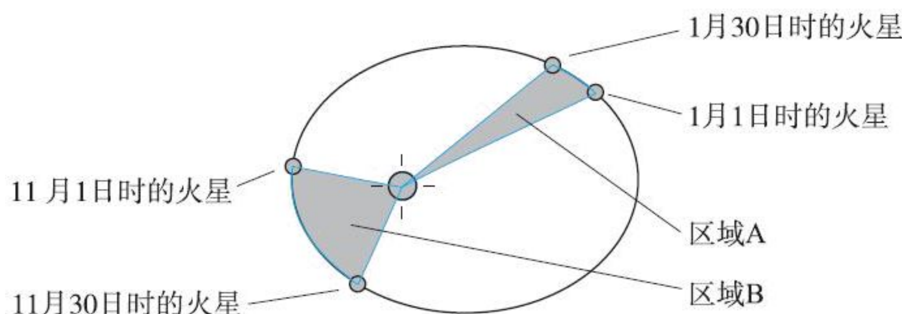


图16-3　开普勒第二定律的示意图

开普勒第二定律对行星运动提出了一个非常重要的推论。由于行星，比如火星，在其轨道上的某个点处距离太阳更近（在图16-3中，火星在左侧时距离太阳最近），因而当火星运行到其轨道的这一部分时，

运行速度会更快，而当它运行到其轨道距离太阳更远的部分时，运行速度则会更慢。换句话说，根据开普勒第二定律，行星的运动不是匀速的。相反，在其轨道的不同阶段，行星运行的速度会发生变化。

运用了椭圆轨道和非匀速运动的开普勒体系可以完美地预言和解释经验事实。除此之外，这个体系也远比托勒密体系或哥白尼体系简单。在简单性这一点上，请注意，开普勒体系没有使用周转圆、均轮、偏心圆、等距点或其他类似概念。相比之下，在开普勒体系中，每个行星只有一个椭圆形轨道，仅此而已。

然而，同样需要注意的是，开普勒体系摒弃了正圆事实和匀速运动事实。回忆一下，这两个事实在2000多年间一直是核心观点。因此，尽管开普勒体系完美地处理了经验数据，但其仍然要求亚里士多德世界观体系发生重大的观念变化。

| 什么因素促动了开普勒 |

根据我们到目前为止的讨论，你可能会觉得开普勒是一个相当直接的研究人员，促使他进行研究的主要因素是他渴望发展出一个能够处理经验事实的理论。开普勒实际上远比此复杂。与我们之前对哥白尼的讨论相同，我不会试图对开普勒发展其体系时所涉及的不同因素进行全面探讨，而是将提供足够的信息，让你可以对开普勒的发现所涉及的哲学性/概念性命题有所体会。具体来说，我们的重点将是——在开普勒有生之年始终促使他进行研究的一个因素，也就是开普勒渴望读懂“上帝”所思。

开普勒读懂“上帝”所思的渴望

究其一生，开普勒都坚信“上帝”对构建宇宙可以说有一个确定的计划、蓝图。开普勒被强烈地吸引，渴望发现这个蓝图来读懂上帝所思，并了解上帝在创造宇宙时就准备好的计划。开普勒的这一渴望在很多方面都有所体现，下面几个例子将足以说明情况。

回忆一下，在快到30岁时，开普勒开始为第谷·布拉赫工作。为什么开普勒想和第谷一起工作？这个问题的答案，在很大程度上关乎开普勒在这之前几年的一个“发现”，对开普勒这个发现的探讨将有助于解释开普勒脑中的上帝所筹划的蓝图是什么样子，以及读懂上帝所思将包括什么内容。

开普勒的第一部重要著作发表于他开始为第谷工作之前4年左右，在这部著作中，开普勒发表了一个他认为在其一生中都将非常重要的发现。开普勒所关心的问题包括为什么上帝创造宇宙时正好创造了6颗行星（水星、金星、地球、火星、木星和土星），而不是5颗、7颗或其他数量。为什么上帝要将行星如此排列，而不是排列成其他样子？开普勒相信这样的问题都有答案。

多年间，对这些问题，开普勒尝试了多种答案。举个例子，他曾尝试使用多种数学比例和函数来解释，但没有一个可以给出令人满意的答案。然而，到了16世纪90年代中期，开普勒想到了使用被称为“正多面体”的概念来回答这些问题。接下来对正多面体做个简要解释，顺带提一句，请忍受一下我在这里的讨论，因为这确实需要一些时间来解释。然而，当我们结束这段讨论的时候，我认为你会更好地理解开普勒是多么不寻常的一个人。

思考一下正方体，因为正方体很有可能是正多面体最好的一个范例。正方体是三维的，其每一面都是相同的，而且都是正方形。请注意，正方形本身是二维的，其每一个组成部分（也就是每一条边）都是相同的，具体来说，每一条边都是与其他边长度相等的直线。一般来说，一个正多面体也具有正方体的这些特点，也就是说正多面体的每一面都是完全相同的二维图形，而每一个二维图形本身也都由相同的部分，也就是长度相等的直线组成。

自古希腊时代起，人们就知道只存在5种正多面体，具体如下：①正方体，有6个面，每个面都是正方形；②正四面体，有4个面，每个面都是等边三角形；③正八面体，有8个面，每个面都是等边三角形；④正十二面体，有12个面，每个面都是正五边形；⑤正二十面体，有20个面，每个面都是等边三角形。

现在，假设我们有一个任意大小的球体，在球体里面，我们找到了一个正方体。也就是说，我们把一个大小合适的正方体放在了球体里，使正方体的每个角都刚好顶住球体。然后，假设在这个正方体里面，我们又找到了另一个球体，也就是说我们把一个大小合适的球体放在了正方体里，使球体的面刚好顶住正方体的各个面。尽管我们在这里谈论的是三维画面，但是如果用二维示意图来表示的话，那就将如图16-4所示。

现在，假设我们继续按照如下顺序把正多面体和球体嵌套在一起：把一个大小合适的正四面体放在图16-4中最里面的球体里，然后在这个正四面体里面再放入一个大小合适的球体，然后是一个正二十面体，接下来是另一个球体，球体里再放入一个正八面体，然后在正八面体里放入最后一个球体。这样，我们所得的结构将如图16-5所示（同样地，这虽然是对一个三维结构的二维示意图，但已可以很好地表示这个结构了）。

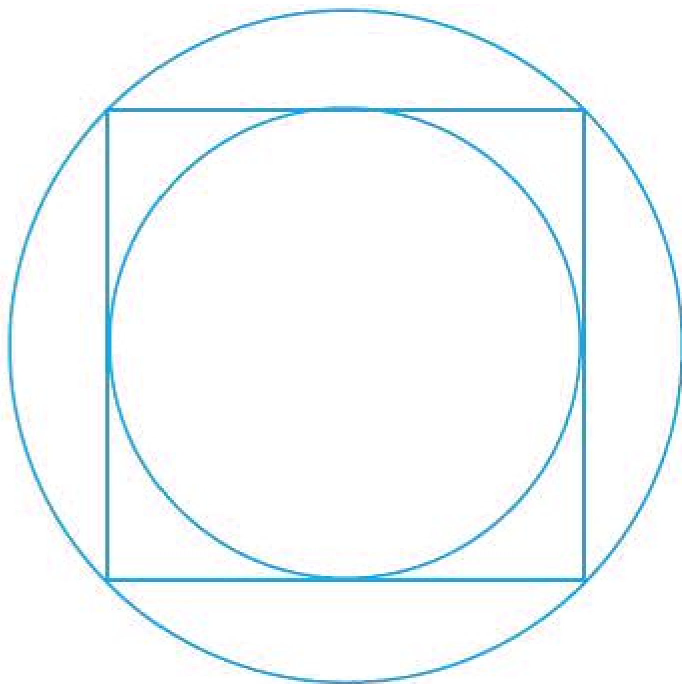


图16-4　嵌套在一起的球体、正方体和球体

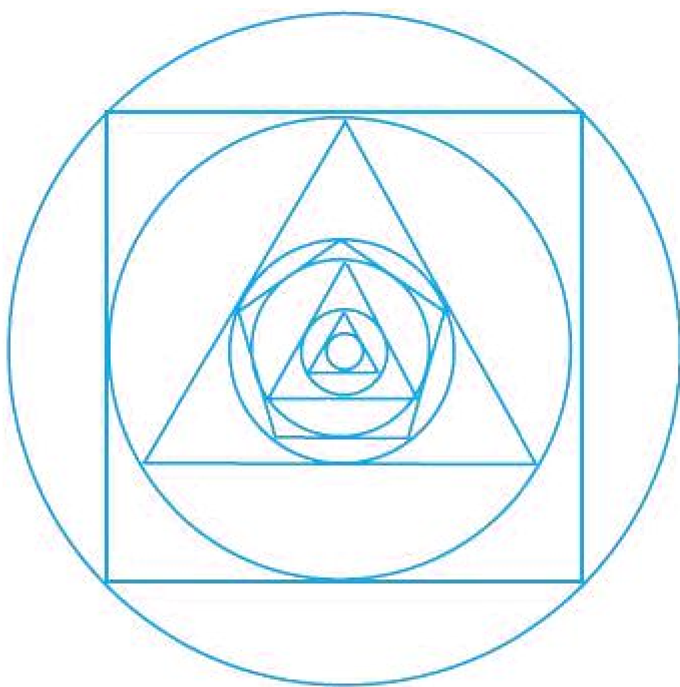


图16-5　开普勒的架构

重申一下，请再忍耐一下，因为接下来将是我对这个结构最后的评论了。让我们关注一下这个结构中的球体。请注意，最开始所选择的球体的大小将决定往里面放的正方体的大小，进而决定正方体里的球体大小，以此类推。也就是说，第一个球体的大小会决定所有球体的大小，同样也会决定每个球体之间的实际距离。

然而，尽管每个球体之间的实际距离取决于我们所选择的第一个球体的大小，但是球体之间的相对距离并不取决于此。也就是说，不管我们所选择的第一个球体尺寸如何，球体之间的相对距离都是相同的。如果我们只看示意图中的圆形，可能更容易理解这一点。示意图也就是图16-6，这个图与图16-5类似，只是去掉了5个正多面体的部分，从而使球体的排列模式更清晰可见。重申一下，不管我们在开始构建这个球体和正多面体的结构时所选择的第一个球体的尺寸如何，球体之间的相对距离都将会如图16-6所示。

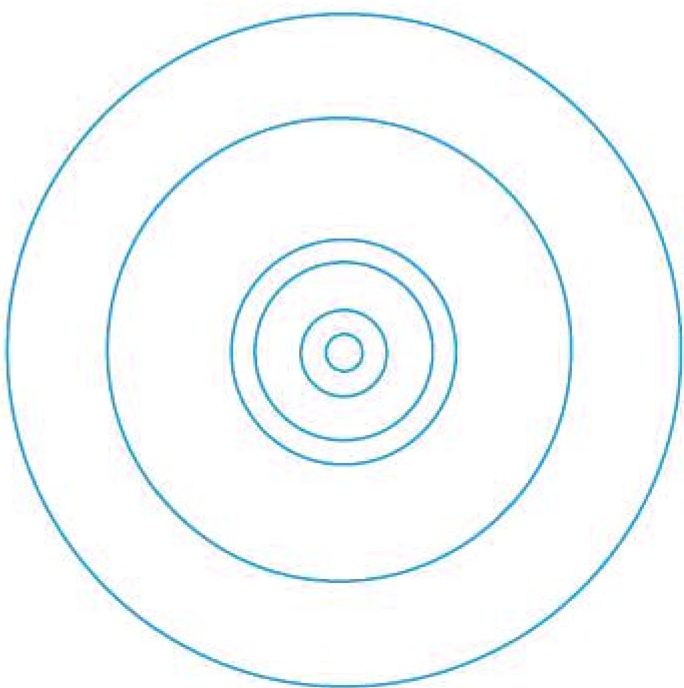


图16-6　去掉正多面体后的开普勒架构

现在，理解了以上内容后，就出现了一个很有意义的问题：以上的这些架构与天文学有什么关联？答案如下：这些架构表明，根据哥白尼体系（或任何其他的日心说体系），计算出行星之间的相对距离是有可能的。后来事实证明，行星之间的相对距离与开普勒构建的球体之间的相对距离相当接近。

这是一个很有趣的事实，我认为毫无疑问，这个事实只是一个关于

我们这个太阳系的有趣的巧合。然而，在开普勒脑中则并非如此。对开普勒来说，这是他在读懂上帝所思方面取得的第一个突破。图16-5中的架构就是上帝在构建宇宙时脑中所想的，也就是上帝想模仿这个反映了球体和正几何多面体之间关系的架构。这就是为什么上帝创造的宇宙里有6颗行星，而不是5颗、7颗或其他数量，也就是每一颗都代表上面架构中的一个球体。这就是为什么在上帝所创造的宇宙中行星会如此排列——行星的排列模式反映的是开普勒架构中球体的排列模式。除此之外，最外层也最重要的正多面体，也就是第一个正方体，其每个角都由3条互成直角的直线组成，上帝以此来反映宇宙中空间的三个维度，等等。

正如前面提到过的，这是开普勒的第一个重要“发现”，而这实际上也是开普勒希望为第谷·布拉赫工作的主要原因之一。也就是说，开普勒希望与当时最好的观察者一起工作，部分原因是为了帮助自己确认这个发现。这个发现于开普勒的第一部主要著作中发表了。但是在他的一生中，开普勒始终渴望读懂上帝所思，也始终笃信嵌套的球体体系是上帝蓝图的关键组成部分。举个例子，很久以后，在开普勒晚年，他将上面所描述的模型进行了拓展，加入了和声的因素，也就是说，上帝在构建宇宙的时候，并不仅仅反映了几何学结构，还反映了音乐结构。简言之，开普勒利用正多面体所进行的构建，以及他对读懂上帝所思的渴望，并不专属于其青年时期。托马斯·库恩对此有所评论，我也相当喜欢，他说，开普勒用正多面体所进行的构建“并不只是年轻的奢侈品，或者如果这确实是年轻的奢侈品，那么开普勒就从来没有长大”（Kuhn，1957，218页）。

开普勒利用正多面体所进行的构建并没有直接让他找到那些令他青史留名的发现，也就是沿椭圆形轨道进行的变速运动。然而，他在找出上帝构建宇宙的规律性方面倾注了巨大的热情，事实上他毕生坚持对关于多面体的架构进行研究，正是这种热情引领开普勒找到了他的核心发现，也就是我们现在所说的开普勒行星运动第一和第二定律。终其一生，开普勒始终致力于发现这种规律性。他发表了十几个“定律”，都反映了他所发现的规律性，或者他认为自己所发现的规律性。今天，这些定律中的大部分已经被忽略，只有三条得到了认可（其中两条在上面已经进行了解释，第三条定律描述的是行星与太阳之间的距离和沿轨道围绕太阳运转的时间），然而，对开普勒来说，这些就是他研究工作的主要内容，也就是发现宇宙中固有的规律性，从而读懂上帝所思。

科学总是不可思议的。开普勒得到了正确的结果。在构建一个完全准确的天文学体系的问题上，经过了2000多年的研究后，开普勒成为第一个发现正确体系的人，这个体系也就是沿椭圆轨道进行变速运动的体系。开普勒是个与众不同的人。他的研究方法在我们看来，绝大部分都很古怪，但却是开普勒其人不可分割的一部分。如果没有这些古怪的方法，开普勒就不可能取得这些成就。

| 结语 |

在第14章中，我们讨论了哥白尼体系，随后我们花了一点时间来探讨人们对这个体系的接受情况。我们看到，总的来说，几乎所有天文学家都很快就熟悉了哥白尼体系，很多人开始使用这个体系，而且在使用时大多采用工具主义态度来对待这个体系。在结束本章之前，我想讨论一下人们是如何接受开普勒体系的。

讨论人们是如何接受开普勒体系的，从某种程度上说并不像讨论人们是如何接受哥白尼体系的那样直接明确。其中一个原因是，许多天文学家试图在保留正圆轨道和匀速运动的同时，复制开普勒的成功。也就是说，这些天文学家承认开普勒的成就，也就是他所建立的体系在解释经验数据方面优于任何已有理论，但是同时他们错误地认为可以利用开普勒的研究成果获得新的发现，来修正当时已有的使用正圆轨道和匀速运动的众多体系，从而使这些体系可以像开普勒体系一样准确。因此，从某种意义上说，这些天文学家承认了开普勒的成功，却没有完全接受他的方法和模型。

第二个使情况变得复杂的因素与开普勒的研究所处的时代背景有关。开普勒于1609年发表了他的体系（至少是关于火星运动的研究成果）。天文学命题通常都是专家的命题，也就是说，通常是那些受到过数学训练的天文学家才会关注这些命题，因而这些命题并不会引发太多的大众争论。然而，第二年，伽利略发表了使用望远镜所得的发现。我将在下一章中对伽利略的这些发现进行更详细的解释，不过，在这里，你只要知道伽利略的发现对更广泛的受众来说都是很容易理解的，就已经足够了。除此之外，这些发现都非常令人激动，或多或少淹没了开普勒的研究成果，因此伽利略的研究成果自然获得了比开普勒的研究成果更广泛的受众和关注。

还有最后一个使情况变得复杂的因素值得一提。伽利略发表其使用望远镜取得的发现后不久，天主教会正式表示反对日心说观点，并限制关于这个观点的讨论和文章、著作。前面提到的开普勒在1609年发表的著作，也就是有关火星运动的著作，以及开普勒后续的某些著作，都被列入了禁书清单（这个清单实际上就是禁止天主教徒阅读的出版物清单）。由于这些形势的变化，很多人本来计划就地心说观点和日心说观点之争撰写并发表文章或著作，此时也都决定全部搁置。因此，开普勒发表其最重要的著作时，刚好有关其他体系的公开争论和讨论也变少了。

所以，想要清晰理解开普勒研究成果的接受情况并不那么容易，不过尽管如此，可以明确的是，最终开普勒体系的优势，也就是其体系的简易性以及对经验数据更好的解释，和伽利略通过望远镜所获得的、可以支撑日心说观点的证据一起，得到了广泛认可。除此之外，在开普勒晚年，也就是17世纪20年代末期，开普勒基于其体系做出了一套天文学表格，效果远优于基于其他任意竞争体系所做出的天文学表格。因此，

到了17世纪中期，持续关注这些天文学命题的人都已经很清楚了，包括地球在内的行星确实是沿椭圆轨道、以变化的速度围绕太阳运转。终于，在17世纪中期，关于匀速、沿正圆轨道运动的哲学性/概念性“事实”不再被当作事实了。

第17章　伽利略和通过望远镜得到的证据

在从地心说观点向日心说观点转变的过程中，另一个发挥了核心作用的人物就是伽利略（1564—1642）。伽利略对天文学、物理学和数学都做出了重要贡献，但是在这里，我们最为关心的是他那些影响了天文学的著作。这章的主要目标是理解通过望远镜得到的新数据，研究这些数据如何冲击了不同天文学体系支持者之间的争论，并探讨人们对伽利略的各种发现的接受情况。

我们将看到，随着望远镜的出现，伽利略的研究工作首次提供了与地心说和日心说之争相关的新经验数据。然而，我们同样也会看到，这些新证据本身并没有使这个争论尘埃落定。伽利略认为这些新证据支持了日心说观点，但是其他同样熟悉这些证据的人们则不这么认为。与在前面几章中一样，我们首先从一些背景知识开始。

| 背景知识 |

伽利略与天主教会

望远镜发明于17世纪到来之前不久，伽利略于1609年开始使用望远镜进行天文学观察。伽利略是第一批将望远镜用于天文学观察的人之一，通过使用望远镜，他发现了有趣的新数据，这些数据对地心说和日心说支持者之间的争论产生了极大的影响。伽利略于1610年发表了第一批观察结果，在随后几年又发表了其他观察结果。

这些新数据最终使伽利略卷入了一场著名的与天主教会的争论中。考虑到这一点，接下来将简单介绍一下伽利略时代的宗教状况。

尽管我们在前面并没有对此进行深入讨论，但是对于教会更偏爱地心说观点，我们也不应该感到意外。教会偏爱地心说观点的一个原因（但并不是唯一的原因）与天主教教义中的许多段落有关，这些段落都暗示地球是静止的、太阳围绕地球运转。因此，伽利略与教会之间的争论必然会涉及对教义的解读。

同样值得注意的是，天主教会在历史上总的来说对新科学观点是持宽容态度的。举个例子，在大多数情况下，教会并不反对哥白尼体系。当然，直到由望远镜提供的新证据出现之前，人们通常都用工具主义态度来看待哥白尼体系，因此与教义并没有矛盾之处。不过，重点是教会通常不会反对新科学观点，通常也愿意在新发现需要的时候重新对教义进行解读。

然而，17世纪对天主教会来说却非常棘手。宗教改革已经于16世纪开始，天主教会积极投入其中，试图阻止其认定的异教思想观点传播。因此，伽利略通过望远镜进行研究工作的时候，教会刚好对新科学观点

并不像从前那么宽容了。

值得一提的是，伽利略本人是一位虔诚的天主教徒。他当然并没有削弱教会的意思，而对他的某些观点可能会最终被认为是异教思想的担忧，伽利略也没有草率对待。后面我们将会看到，在对教义的解读上，伽利略的观点确实有很多不同点，而这些不同点在他与教会的交锋中扮演了重要角色。

对由望远镜得来的证据性质的说明

关于地心说体系和日心说体系支持者之间的争论，重点是不能忘记仅凭肉眼观察得到的数据无法平息这场争论。事实上，正如我们一直以来所强调的，肉眼观察得到的数据支持的是地心说观点。

值得注意的是，即使有了望远镜，也没有办法直接确定地心说和日心说观点哪个是正确的。我想花一点时间来讨论这一点，因为我认为这一点常常被误解，而且理解了这一点将有助于更好地理解由望远镜得到的证据的性质。

假设我们暂时离开伽利略，跳回到距今400年前的时代。就算是在与400年前相比取得了巨大科技进步的今天，我们仍然没有技术可以直接证明到底是地球围绕太阳运转还是太阳围绕地球运转。我们对于地球围绕太阳运转最为直接的证据是最终于20世纪90年代首次被观测并记录在案的恒星视差。然而，恒星视差这样的证据并不是我们在第3章中所讨论的那种由直接观察所得到的证据。

甚至是从太空拍摄的照片都不能直接证明地球是否围绕太阳运转。要理解这一点，假设我们有一张照片，就像图17-1所示，照片里是太阳、水星、金星和地球。提示一下，实际上我们并没有这样的照片。这样的照片，需要从地球轴线以上或以下的一个制高点来拍摄，但事实上，我们并没有向这两个方向发射太空飞船。我们这个太阳系有趣的特点，包括行星、小行星等的特点，基本或多或少都是由一架沿地球赤道切线飞行的飞机所提供的。因此，我们的太空飞船通常都是随飞机一起发射出去，而不是在地球轴线的方向上。然而，重点是，就算我们有这样的照片，也不能证明地球和太阳到底哪一个才是我们这个太阳系的中心。

要理解这一点，请注意，图17-1中的“照片”与地心说体系和日心说体系都是同等匹配的。也就是说，这张照片与图17-2中展示的日心说观点是相适应的。然而，这张照片同样也可以与图17-3所展示的地心说观点相适应。

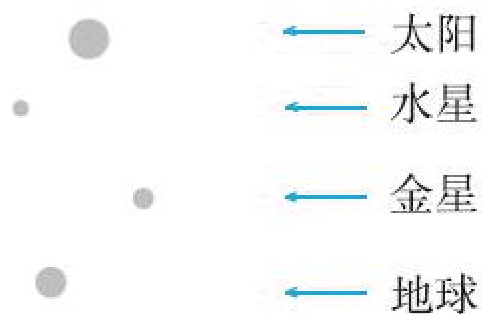


图17-1　太阳和行星的“照片”

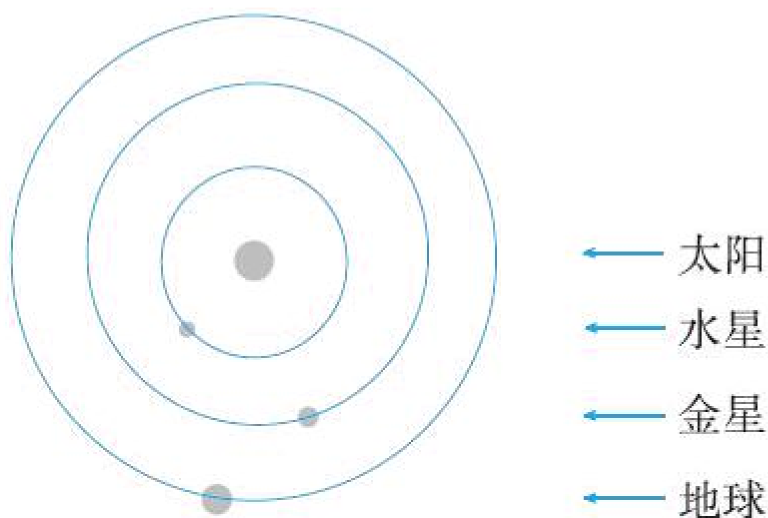


图17-2　用日心说观点对“照片”的解读

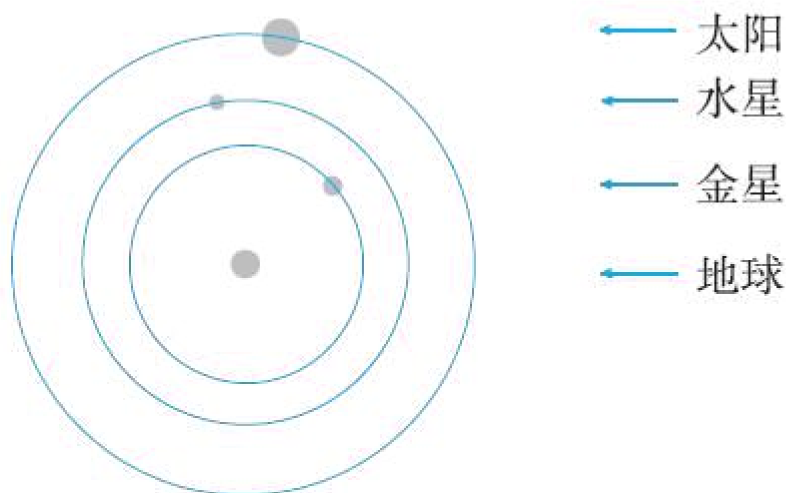


图17-3　用地心说观点对“照片”的解读

简言之，就算我们可以给太阳系拍一张这样的照片，这张照片也不能证明地球或太阳哪个是中心。甚至假设我们拍一段时间很长的视频，并画出太阳和行星在一段时间内的位置变化，这样的视频也将只能证明太阳和行星之间的相对运动。也就是说，这样的视频只能展示出太阳和行星相对于彼此是如何运动的。然而，在以地球为中心的第谷体系中，太阳与行星的相对运动，与日心说体系中太阳与行星的相对运动是相同的。换句话说，就算我们有这样的视频，它们也可以被证明与以地球为中心的第谷体系相一致。（我必须指出这样的视频并不适用于最初的第谷体系，也就是包括周转圆、正圆轨道和匀速运动的体系，但是可以与一个经过修正、已经“现代化”了的第谷体系相一致。这样一个经过了修正的第谷体系与图15-1相似，但运用了椭圆形轨道，而且行星以变化的速度在轨道上运行。在第15章结束时，我们提到过现在仍然有地心说观点的支持者，他们所偏爱的正是这个经过了修正的第谷体系。）

对于这个命题，我进行了较详细的讨论，但这都是为了说明很常见而又很重要的一点：我们通过技术得到的证据很少会像我们通常所认为的那样直接。这是很重要的一点，当我们思考伽利略通过望远镜得到的证据时，需要把这一点记在脑中。

因此，伽利略通过望远镜得到的证据尽管令人陶醉，也十分重要，但是并没有直接解决日心说体系和地心说体系支持者之间的争论。不过，这些证据确实提供了一系列间接证据，对这个争论当然产生了一些冲击。接下来，让我们开始思考伽利略的证据。

| 伽利略通过望远镜得到的证据 |

伽利略发表了一系列通过望远镜得到的新观察结果。对地心说观点来说，其中一些数据提出了相对无关紧要的问题，而另一些数据则让这一观点遇到了大问题。我们会逐一进行讨论，在这个过程中，我们不仅会讨论伽利略发表的观察结果，还会探讨这些新数据如何影响了日心说观点和地心说观点之间的争论。

月球上的山峰

伽利略是首先将望远镜用于观察月球上某些地表特征的人之一，所观察的地表特征包括山峰、平原以及我们现在所说的月坑。从某种程度上说，这些特征可以用肉眼观察到，伽利略之前的人曾经推断月球上有山峰，但只有在望远镜的帮助下人们才能看清这些地表特征的细节。

月球上有山峰这样的地表特征并不能直接证明地球围绕太阳运动。事实上，这一观察结果之所以对地心说与日心说之争有一定影响，原因在于它破坏了亚里士多德世界观中宇宙整体的样子。回忆一下，在亚里士多德世界观中，天空中的物体仅由以太组成，这一点成为亚里士多德

世界观解释天体运动的关键点。因此，如果月球似乎是一个巨大的岩石体，且在外观上与地球有很多相似之处，那么这就很清晰地证明了亚里士多德世界观中“天空中的物体都由以太组成”的观点不可能正确。

值得一提的是，这个证据本身绝不足以严重破坏亚里士多德世界观。确实，亚里士多德世界观包括“天体由以太组成”的观点，这个观点，也就是亚里士多德世界观拼图中的一块拼板，可以在不对整个观点体系进行大量改变的情况下得到修改。举个例子，月球是在月上区和月下区的分界线上，因此，如果认为月球既包括月上区的元素，又包括月下区的元素，并不是不合理的。换句话说，关于月球的观点并不是亚里士多德世界观中的核心观点。然而，毫无疑问，月球上有山峰这样的地表特征存在，表明在面对通过望远镜得到的新证据时，亚里士多德世界观不可能保持不变。

因此，对日心说和地心说之争来说，月球表面有山峰的观察结果之所以有影响，很大程度上是在于它表明了亚里士多德世界观存在瑕疵。这个观察结果还从另一个角度表明了日心说观点更有道理。回忆一下有关“地球是静止的”这一论点（我们在第10章中讨论过），这个论点的基础是没有什么可以使地球保持运动状态。如前所述，地球是一个很大的岩石体，很像我家前院里的大卵石，它会保持静止，除非存在什么因素持续使它运动。这个论据似乎非常令人信服。然而，通过望远镜，我们现在可以看到，月球似乎也是一个巨大的岩石体，而且明显月球始终在保持运动。所以，如果像月球这样巨大的岩石体可以围绕地球进行持续运动，也许同样是巨大岩石体的地球也可以围绕太阳进行持续运动。

太阳黑子

伽利略同样是第一批用望远镜观察太阳黑子的人之一。太阳黑子是在观察太阳的时候可以看到的一些黑暗区域。人们不能直接用望远镜来观察太阳，因为这样做会使视网膜受到伤害，但是可以通过往纸上投影的方式来观察望远镜里太阳的图像。

伽利略用这种方法来观察太阳黑子。利用观察所得的结果，伽利略得以令人信服地论证出太阳黑子一定是太阳表面本身就有的区域，而不是其他什么图像，比如说从太阳前面经过的小行星的图像。

与月球表面的山峰情况相同，关于太阳黑子的观察结果并不是可以证明日心说观点的直接证据。不过，太阳毫无疑问在月上区（并不像月球一样在月上区和月下区的边界上）。因此，如果太阳黑子在太阳上，就像伽利略论证的那样，那么月上区肯定不像亚里士多德世界观所认为的那样是没有变化的完美区域。因此，就像月球表面的山峰一样，关于太阳黑子的数据被证明是亚里士多德世界观的另一个瑕疵。

土星的光环或“耳朵”

伽利略关于土星的证据所带来的结果与关于月球和太阳的证据相似。伽利略是第一个观察到土星有时会有边缘凸出现象的人，这个凸出的边缘看起来就像把手或者耳朵。现在我们知道伽利略所观察的就是土星光环，尽管他所使用的望远镜解析度并不足以看清光环，而只能看成是土星边缘的凸起。（后来又过了半个世纪，这个凸起才被正确地假定成围绕土星的一个环形结构。）

同样地，这个数据表明了亚里士多德世界观的又一个小瑕疵。回忆一下，天体由以太组成，以太的天然形状就是正球体。因此，由以太组成的行星一定也是正球体。伽利略的观察结果则表明土星并不像亚里士多德世界观所预期的那样是正球体，月球和太阳也不是。

木星的卫星

在伽利略的望远镜可以观察到的所有现象中，木星的卫星很有可能是观察起来最让人愉悦的。通过望远镜，伽利略观察到了四个小亮点，它们围绕在木星周围，位置随时间变化而变化，伽利略正确地推断出这四个小亮点是围绕木星运转的卫星。就算是在今天，木星的卫星可能仍然是用小望远镜就能看到的最令人愉悦的亮点（跟土星光环一样让人观察起来感到心情愉悦）。

为了谋求一个好的职业发展，伽利略把木星的卫星命名为“美第奇之星”，用来向美第奇家族（意大利最强大的家族之一）致意。当时，伽利略希望能进入美第奇家族宫廷，很快他就获得了成功，随后不久就被任命为美第奇家族宫廷的首席数学家和哲学家（“哲学家”在这里的意思更像是我们现在所说的科学家）。

伽利略花了很多时间来仔细观察木星的卫星，绘制出它们的位置，并确定这些卫星确实是围绕木星运转的物体。这也是一个无法与亚里士多德世界观简单拼合在一起的证据。回忆一下，根据亚里士多德世界观，特别是在托勒密体系中，地球是宇宙中所有圆周运动唯一的中心。所有天体，包括月球、太阳、恒星和行星，都围绕宇宙中心，也就是地球的中心，沿圆形轨道运转。但是，伽利略发现有物体围绕木星运转，这决定性地证明了，与亚里士多德世界观中的观点相反，宇宙中的圆周运动并非都围绕唯一的一个中心。

作为推论，值得一提的是，地心说观点的支持者驳斥日心说观点的一个论据就是“地球卫星的运动模式非常奇怪”。也就是说，如果有物体围绕地球运动，然后地球又围绕太阳运动，那么多少都有些不够优雅。然而，伽利略发现的木星卫星却使这个论据被丢到了一边，因为即使是地心说观点的支持者也必须接受至少有一个天体，也就是木星，在本身运动的同时，还有其他物体围绕自己运动。

金星相位

金星相位提供了某些与地心说和日心说之争有关的最为引人注目的证据。仅用肉眼观察，你不可能观察到金星实际上像月球一样，会经历一个周期性的相位变化。但是，通过望远镜，很容易就可以观察到金星相位，而伽利略就是第一个发现金星相位的人。除此之外，金星不仅会经历周期性的相位变化，而且它的大小也会根据所处的相位发生变化。图17-4展示了金星在不同相位的样子，包括满月位、亏凸月位/盈凸月位、上/下弦月位、眉月位/残月位和新月位。要理解这些数据的重要性，我们需要理解为什么金星在不同的时间会处于不同的相位。由于这个解释从本质上来说与对“为什么月球会经历不同相位”的解释是相同的，所以让我们首先讨论一下月球，然后再回到金星。

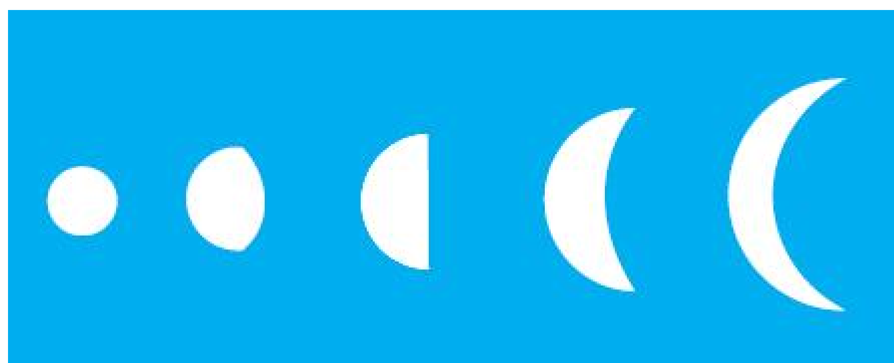


图17-4　金星相位

月球相位是太阳、月球和地球三者间相对位置变化的结果。在任意一个给定的时间点，月球的一半会被太阳照亮，另一半会在黑暗中。当月球和地球所处的位置使我们可以完整地看到月球被太阳照亮的表面时，我们所看到的就是满月。当我们只能看到月球被太阳照亮的表面的一半时，我们所看到的就是弦月，当我们只能看到月球被太阳照亮的表面的一小部分时，我们所看到的就是蛾眉月或残月。图17-5可能有助于理解。被标注为1/4、3/4等点处的月球代表的是月球在围绕地球运转一周，也就是将近27天的过程中，其所在的相对于地球和太阳之间的不同位置。

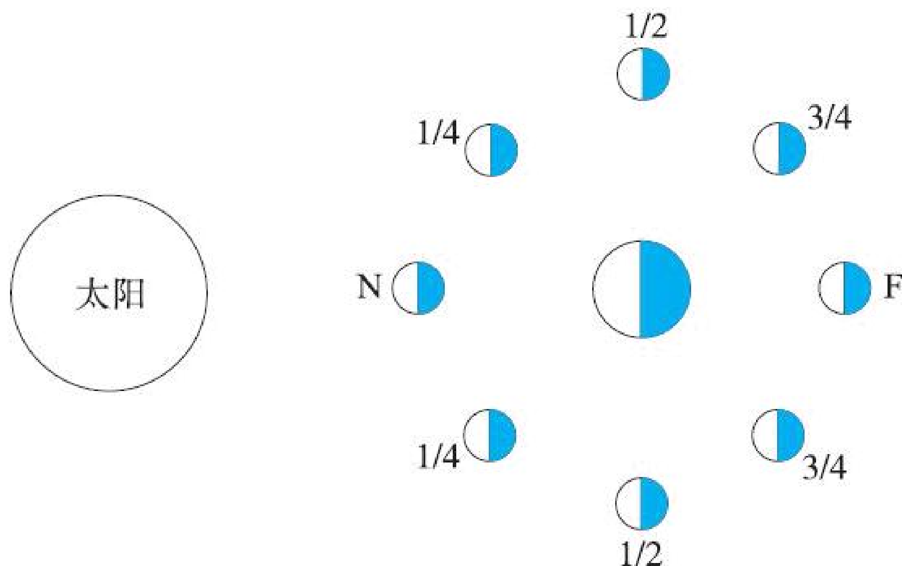


图17-5　月球相位

当月球位于点F处时，被太阳照亮的表面面对地球，我们会看到一个满月。当月亮处于点3/4处时，我们将看到亏凸月/盈凸月，然后是上/下弦月、眉月/残月，最后是新月，也就是我们在夜空中看不到月球的时候（在点N处）。

如果金星经历一系列相位变化，正如伽利略所发现的，那么像月球一样，金星相位一定也是太阳、地球和金星之间相对位置变化的结果。重点是，如果使用一个日心说体系，那么对金星相位的预言会与托勒密体系的预言非常不同。具体来说，根据日心说体系，我们会预计金星经历一个完整的周期性相位。相比之下，如果托勒密体系是正确的，那么我们最多只能看到在眉月位/残月位的金星，而永远都看不到在上/下弦月位、亏凸月位/盈凸月位或者满月位的金星。

通过图表来说明这些不同的预言是最好的方法。让我们首先思考一下图17-6展示的托勒密体系中的地球、太阳和金星。这幅图展示了我们在第11章结尾时讨论过的一个关键经验事实是如何发挥作用的。回忆一下，事实上金星从来不会出现在距离太阳很远的地方。也就是说，不管太阳在天空中的哪个位置，金星总会在不远处。重申一下，这就是为什么我们只能在刚刚日落后（在一年中特定的某些时间）或马上要日出前（在一年中的其他时间）看到金星。除此之外，在白天和夜晚的其他时间段里，我们都看不到金星，因为金星要么随着太阳在地平线以下（夜晚的时候），要么就是白天在太阳附近，太阳的光线使我们无法看到它。

在托勒密体系中，对这个事实有且只有一种解释，那就是太阳和金星围绕地球运转一周所需的时间相同（或者更准确地说，太阳和金星的

周转圆围绕地球运转一周所需的时间相同）。换句话说，地球、太阳和金星的周转圆一定总是成一条直线，就像图17-6所示。

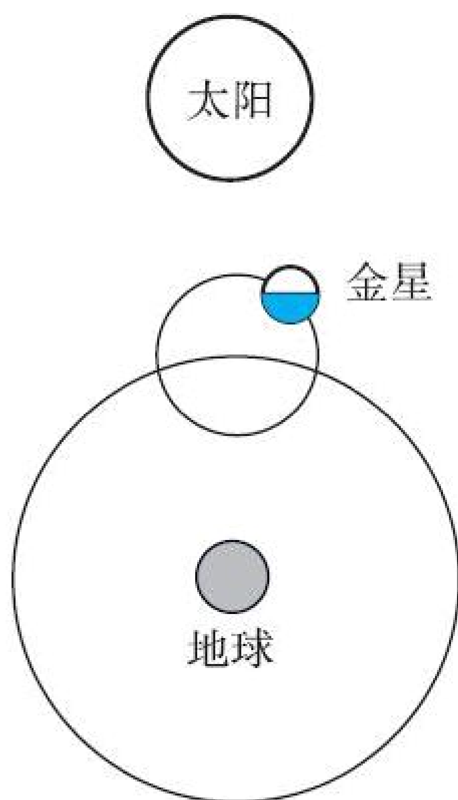


图17-6　托勒密体系中的太阳、金星和地球

然而，请注意，这就决定了金星被太阳照亮的一半总是不能正对地球。因此，就像月球被照亮的一半没有面对地球时的情况一样，金星总是看起来（最多）像一个月牙。换句话说，在托勒密体系中，我们最多只能看到金星被太阳照亮的一半中的一小部分。我们永远看不到一颗完整的金星，或者处于亏凸月位/盈凸月位或上/下弦月位的金星。前面提到的这些相位所要求的金星、地球和太阳的相对位置，在托勒密体系中都不可能实现。

伽利略所发现的金星的相位，为托勒密体系提供了直接明确的不证实证据。相比之下，就像下面要解释的，在日心说体系中，人们可以预期看到金星经历一个完整的周期性相位变化，因此，金星相位为日心说观点提供了证实证据。

在解释日心说观点如何描述金星相位之前，首先，请注意，对“在天空中金星总是距离太阳不远”的经验事实，日心说体系的解释是，金星是一颗内行星。也就是说，金星与太阳之间的距离小于地球与太阳之间的

距离。在图17-7中，请注意，以地球为观察点，不管金星位于其轨道上的哪个位置，总不会出现在距离太阳很远的地方。除此之外，在日心说体系中，由于金星围绕太阳运转一周的时间比地球短（金星只需要225天，而地球需要365天），因此以地球为观察点，金星有时会在太阳背对地球的一侧，看起来就是满月的形状；有时又会在太阳的侧面，因而看起来像弦月的形状；还有时会在地球和太阳之间，从而完全看不见，或看起来只是个月牙形，等等。简言之，根据日心说观点，我们可以预计金星会经历一个完整的周期性相位，因此，伽利略的发现为日心说观点提供了证实证据。

日心说观点不仅正确地预言了金星应该经历一个完整的周期性相位，还对金星相位与人们观察到的金星大小之间的关系做出了相当自然而然的描述。

请注意，在图17-4中，金星在满月位时看起来最小，而在新月位时看起来最大。这恰好就是在日心说体系中我们可以预计看到的情况。由于金星只能在位于太阳背对地球一边时处于满月（或将近满月）的相位，此时金星与地球之间的距离达到最大值，那么我们预计能看到的将是最小的金星。同样地，金星只有位于地球和太阳之间时，也就是位于距离地球最近的点时，才能处于新月位，因此金星才会在处于新月位时看起来最大。

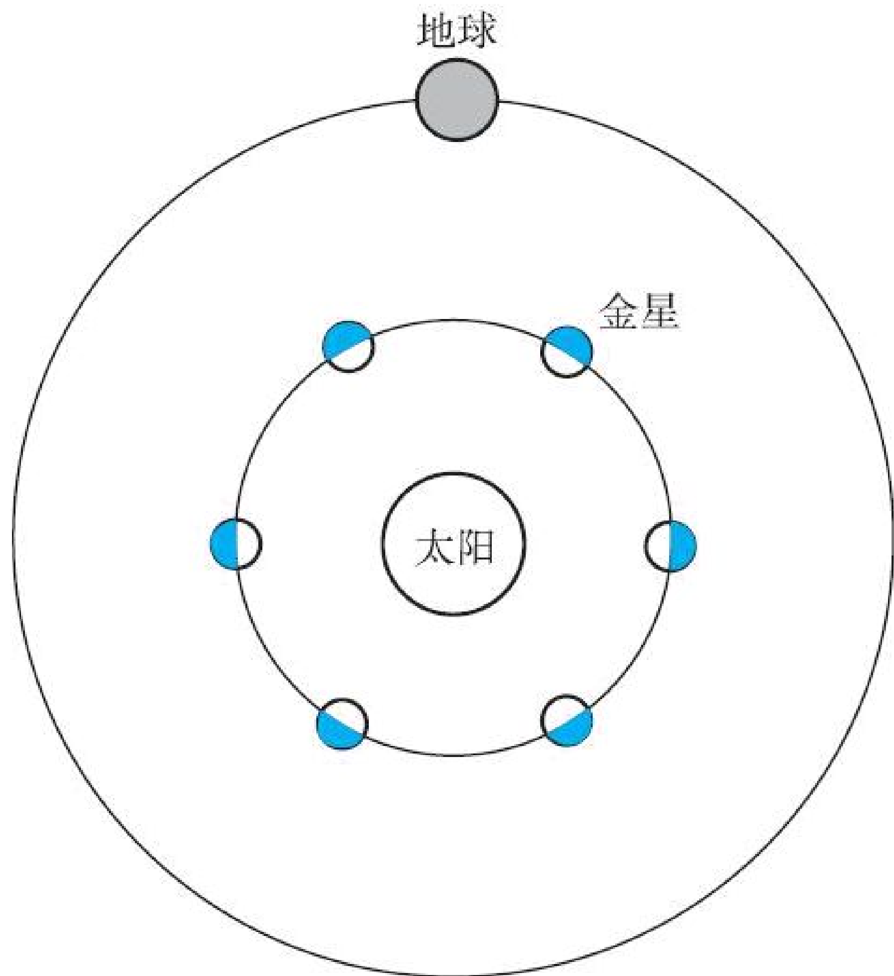


图17-7　日心说体系中的太阳、地球和金星

简言之，金星相位为反驳托勒密观点提供了重要的不证实证据。然而，重点是，金星相位并不足以解决日心说观点和地心说观点之间的争论。举个例子，回忆一下第15章中描述的第谷体系。重申一下，第谷体系是一个地心说体系，其中月亮和太阳围绕地球运转，而行星则围绕太阳运转。根据第谷体系，我们同样可以预计看到金星展现出一个完整的周期性相位变化，并且在满月位时看起来最小，而在新月位时看起来最大。同样地，你也可以修改托勒密体系，让金星（可能加上水星一起）围绕太阳运转，而其他天体仍然围绕地球运动。这样一个修改了的托勒密体系同样也可以与金星相位相一致。简言之，金星相位在为日心说体系提供了证实证据的同时，也在同等程度上为像第谷体系或前面刚刚描述过的经过修改的托勒密体系这样的地心说体系提供了证实证据。因此，尽管金星相位提供了证据来反驳最初的托勒密体系，但并没有解决日心说和地心说之争。

接下来我要简要讨论的是这个例子如何精妙地说明了我们在第5章中讨论过的理论的不充分确定性。也就是说，即使是像金星相位这样重大的发现，最终也被证明与日心说体系（包括哥白尼和开普勒的理论）和地心说体系（比如第谷体系），或者前面所描述的经过修改的托勒密体系，都可以完美地保持一致。这种情况在科学中很典型——新证据，甚至是非常重要的新证据，通常都同时与两个或更多个相互竞争的理论相一致。换句话说，可用的证据通常不能单独决定某个具体的理论是否正确。

最后，值得注意的是，尽管金星相位没有解决日心说和地心说之争，但无论如何它需要人们在观点上做出重要改变。也就是说，在过去1500年间，托勒密体系一直被当作是默认体系，而现在这个体系需要被替换了。所以，人们要么转而选择相信日心说观点，要么相信第谷体系，要么相信经过修改的托勒密体系，无论是哪个选择，人们都必须对自己关于宇宙结构的观点进行重大调整了。

恒星

最后还有一个发现值得讨论，哪怕只是简短的讨论。通过望远镜，伽利略发现除了肉眼可看见的恒星，还存在其他无数恒星。这至少意味着宇宙很可能比之前猜想的大得多，甚至有可能是无限大的，其中包括无限多的恒星。伽利略本人并不支持这个观点，然而，在接下来的几十年间，“宇宙可能很大，甚至无限大”的观点占据了主导地位，而伽利略的发现，也就是宇宙中还有数量众多的恒星，可以与这个关于宇宙的新观点拼合在一起。

| 对伽利略发现的接受情况 |

可以理解，伽利略通过望远镜取得的发现被认为是令人激动的新发现，并使伽利略成为当时最著名的科学家之一。伽利略于1610年到1613年之间发表了他的大部分发现。在其著作中，我们可以看到，伽利略当时开始认为日心说观点肯定是正确的宇宙模型。回忆一下，到那个时候，以太阳为中心的哥白尼体系已经为人们所使用并在学校中教授了70余年，但是，在这段时间内，哥白尼体系通常都被以工具主义态度来对待。此时，伽利略开始建议用现实主义态度来对待日心说观点。

教会（也就是天主教会，在欧洲的天主教国家有很强的影响力）可以接受以太阳为中心的哥白尼体系，前提是要用工具主义态度来对待这个体系。然而，当出现了“日心说观点可能真的是宇宙构建的方式”的声音时，教会就开始认为这个观点很有问题了。

伽利略在1615年晚些时候来到罗马，试图阻止教会将日心说观点列为异教学说。此时，伽利略意识到仅凭由望远镜取得的证据本身，非常有可能不足以说服日心说与地心说之争中后者的支持者，因此，他又提

出了一个以潮汐为基础的论据来支持日心说观点。这个论据由伽利略在1615年发表的文章中提出。他实际上论证的是海洋因为地球运动而出现潮汐现象，就像船甲板上的水因为船的运动而翻滚一样。顺带提一下，伽利略对潮汐的描述后来被证明是错误的。

尽管伽利略付出了很多努力，但是在1616年年初，“太阳是静止的，并且位于宇宙中心”的观点仍然被裁定为异教观点，教授这个观点或对其书面论证维护都是被禁止的。然而，值得注意的是，教授日心说观点并没有立刻就被禁止，事实上，被禁止的是将日心说观点当作现实来教授。日心说观点仍然可以以“假设”的形式被教授或出现在书面文献中，也就是说，可以用我们称为工具主义的态度来对待这个观点。哥白尼本人早在1543年就已出版的关于这个话题的著作仍然可以被教授，但前提是要做出修正，删除哥白尼认为日心说观点是现实的几页内容。

由于伽利略此时已开始用现实主义态度来对待日心说观点，而且公开支持这个现实主义态度，教会否定日心说观点是现实的这一裁决对伽利略来说是雪上加霜。教会对日心说观点的正式裁决文献中并没有提及伽利略本人或他的任何著作。但伽利略仍然被传唤，参加了贝拉明枢机主教（在“太阳是静止的，并且位于宇宙中心”的观点被裁决为异教观点的过程中，贝拉明主教是其中一个主要教会领袖）主持的一个会议。在这个会议中，伽利略被明确告知，同时也收到了书面通知，要求他自己不能认为日心说观点是现实，也不能教授这一点。不过实际上，尽管1616年的裁决对伽利略来说是个坏消息，但并不是最糟糕的情况。

关于教会否定日心说体系是现实的裁决，我们应做何评论？考虑到伽利略通过望远镜所得证据的说服力，关于教会对这些证据所采取的态度，我们应做何评论？这是不是一个甚至拒绝思考这些证据的案例？教会是不是不管证据有多充分，都不愿意接受任何否定其观点的证据，因此教会是不是认为地心说观点是不可证伪的？

通常情况下，这些问题都比它们乍看起来要复杂得多。正如前面提到过的，贝拉明主教是与裁决相关的主要教会领袖之一，让我们重点探讨一下他的观点，并与伽利略的观点进行对比。

首先，接受伽利略通过望远镜取得的证据并没有问题。贝拉明是一位很有能力的天文学家，他和其他教会天文学家，包括著名的数学家、天文学家克里斯托弗·克拉维斯，复现了伽利略的观察结果，证实了它们是准确的。教会天文学家不仅验证了伽利略的发现，而且对伽利略赞赏有加。

问题在于伽利略的证据对地心说观点和日心说观点之争的影响。正如前面提到过的，伽利略明确认为不管宗教教义是如何写的，由望远镜取得的证据表明日心说体系是正确的。另一方面，贝拉明笃信宗教教义所写的是正确的，而且他似乎认为不可能有证据证明与此相反的情况。因此，贝拉明是不是认为地心说观点是不可证伪的？

这并不是一个简单的问题。要更深入地探讨这个问题，让我们先更深入地研究一下伽利略和贝拉明的观点。随着这个问题逐渐铺开，贝拉明和伽利略都发表了书信来表达他们各自的观点。发表于1615年的一篇相对简短的文章是对贝拉明观点最好的总结，这篇文章通常被称为《给福斯卡里尼的书信》。对伽利略观点最清楚的表述则出现在一篇稍长一些的文章中，同样发表于1615年，通常被称为《给克里斯蒂纳公爵夫人的书信》。（顺带提一下，克里斯蒂纳是美第奇家族中地位显赫的一位成员，伽利略试图消除这位公爵夫人及其他人对于其观点与宗教教义或天主教教义相悖的顾虑，从而使自己保持与美第奇家族的良好关系，而这对伽利略来说非常重要。）

在《给克里斯蒂纳公爵夫人的书信》中，伽利略清楚地表明，他认为《圣经》里的每一个字都是正确的。然而，他同时表示，《圣经》是写给所有人看的，包括那些生活在很久以前、科技还不发达的时代的人们，以及几乎没有受过教育或仅接受过少量教育的人们。因此，《圣经》的写法决定了其真正含义通常很难确定。于是，伽利略认为，当我们所面对的是经验性/科学性命题，并且可以获得经验性/科学性证据和证明时，我们决不应该把《圣经》当作对这些命题的最终裁决。首先，伽利略表示，这些命题（比如，到底是太阳围绕地球运转还是相反的情况）与救赎无关（也就是说，伽利略认为不管在这些命题上秉持怎样的观点，都不会让人得到或得不到救赎）。其次，如果教会基于《圣经》的内容对某个经验性命题做出最终裁决，结果后来这个裁决被经验性证据证明肯定是不正确的，这对教会来说并不是件好事。所以，伽利略认为一个通常可行的做法不应该是基于宗教教义来对经验性命题做任何裁决。

贝拉明在《给福斯卡里尼的书信》中明确表示在上述这些问题上，他不同意伽利略的观点。首先，贝拉明指出，关于这里的核心问题（到底是太阳围绕地球运转还是相反的情况），《圣经》里相关的段落似乎相当明确。除此之外，贝拉明还指出，对如何解读《圣经》中的相关内容，不存在意见分歧。举个例子，贝拉明指出，所有编写《圣经》段落解读的人都认为《圣经》明确指出太阳围绕地球运动。所以与伽利略所指出的情形相反，这种情况并不涉及复杂的教义解读。

贝拉明同时还明确否定了伽利略认为这些命题不关乎救赎的说法。贝拉明承认，通常来说，与科学问题相关的命题可能都不会与救赎有关。但是，在这里，这些命题与救赎是相关的，因为《圣经》表明太阳围绕地球运转，因此人们如果否定了这个观点，也就是否定了《圣经》的权威性，而这样做就相当于是否定了“上帝”所说的话。根据贝拉明的观点，这一点把日心说观点与地心说观点之争与救赎联系到了一起。

最后，值得指出的是，在这封信中，贝拉明明确提出如果有证据可以证明地球围绕太阳运转，那么我们就必须接受这个证据。然而，同时（很有可能是出于前面解释过的原因），贝拉明指出他认为这样的证据不会，也不可能出现。尽管如此，贝拉明确实至少考虑了这样一个证据

的可能性，并且指出，如果出现了这样一个证据，教会领袖们将需要谨慎思考一下他们在这一点上是如何如此严重地误读了宗教教义的。

请注意，伽利略和贝拉明在某些命题上意见一致。他们两人都接受通过望远镜取得的数据，都承认宗教教义的权威性。两人也都认为宗教教义提出的是太阳围绕地球运转，都同意通过望远镜取得的数据表明的是地球围绕太阳运转。

然而，伽利略和贝拉明在如何衡量不同的证据方面，是有不同意见的。伽利略的观点是在有关救赎的问题上，宗教教义无可争议是正确的。但是，在其他问题上，也就是无关乎救赎的问题上，不需要认为宗教教义无可争议地正确。根据伽利略的观点，由于到底是地球围绕太阳运转还是太阳围绕地球运转的问题与救赎无关，因此，在这里，通过望远镜取得的证据可以胜过宗教教义给出的证据。

相比之下，贝拉明的观点是，宗教教义的方方面面都无可争议是正确的。贝拉明认为我们可以误解宗教教义，但在这种情况下，错误的是我们的理解，而不是教义本身。由于我们几乎不可能误解教义中有关静止的地球和运动着的太阳的段落，因此，在日心说与地心说之争中，来自教义的证据胜过由望远镜取得的证据。简言之，我认为比较公平地说，如果被问到是否会放弃地心说观点，贝拉明应该会同意“愿意在出现足够多证据时放弃这一观点”的说法。但是，至于什么样的证据最能说明问题，贝拉明的确与伽利略的观点不同，而且考虑到他所支持的证据类型，贝拉明认为那种足以让他放弃地心说观点的证据可能出现的概率非常小，或者说也许根本不可能出现。

这恰恰就是我们在第7章中第一次讨论可证伪性命题时所讨论过的情形。在第7章中我们看到了，有关可证伪性的命题说到底通常归结为“怎样的证据最为有力”的命题。而“怎样的证据最为有力”的命题通常关乎一个人的整个观点体系。贝拉明非常尊重科学发现，但他首先是一名宗教领袖，这也是他最重要的身份，对他来说，宗教教义提供的证据要胜过科学证据。而另一方面，伽利略也很尊重宗教教义，但他首先是一名科学家，这也是他最重要的身份，因此对他来说，通过新科学发现获得的证据要胜过宗教教义提供的证据。

那么，对于“贝拉明是否认为地心说是不可证伪的”，我们现在有了什么结论呢？我认为，如果是现在，在经过了400年后，当科学在尊重经验事实的基础上取得了超乎想象的成功和发展时，贝拉明仍然支持地心说观点，那么他的态度就像史蒂夫的态度一样没有道理，就一样是认为这个观点是不可证伪的。但是，在17世纪初期，没有很好的理由认为伽利略所支持的那种以经验为基础的方法在未来也会像在过去一样成功。因此，我认为唯一公平的回答是，对于“贝拉明是否认为地心说观点是不可证伪的”，完全不能简单地用“是”或“不是”来回答。随着我们对类似事例的研究，我们发现它们远比乍看起来要复杂得多。我认为，可以说正是这个复杂性使科学史和科学哲学变得如此有趣。

| 结语 |

正如我们在前面讨论过的，尽管教会在1616年做出了否定日心说观点是现实的裁决，但伽利略本人在这个过程中相对没有受到影响。几年之后，他就没有那么幸运了。在1632年早些时候，伽利略出版了《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》一书。这本书内容丰富，对支持和反对地心说体系和日心说体系的论据都分别进行了讨论。回忆一下，仅对日心说体系进行讨论并没有被禁止，被禁止的只是支持这个观点就是现实的做法。

这本书并没有得到教会的接受，教会的观点是这本书跨过了讨论日心说观点和支持这个观点是现实之间的界线。还有很多问题使整体情况变得更加复杂了。这本书以对话的形式呈现，所以从技术角度来说，伽利略可以说是书中的对话里的角色支持这些观点，而不是他本人。但这说服不了任何人。这本书很明确地支持日心说观点是现实。在前面我们提到过，1615年伽利略参加了一个由贝拉明主持的会议（包括书面文件），在会议中，他被告知不能教授或相信日心说观点是现实。考虑到这一背景，毫无疑问，伽利略确实跨过了那条界线。然而，让事情更为复杂的是，这本书通过了教会的标准审查流程，得到了出版许可。同样与此关联的是，在那些年中，伽利略成功冒犯了多位很有影响力的人物。在其著作中，伽利略有时表达出非常强的讽刺意味，而且对很多人都表示不屑，因此，他成功地为自己树立了很多敌人，其中有些很有影响力，而且很不喜欢他。除此之外，伽利略有时似乎对政治环境缺乏敏感性。跟现在一样，那时也有很多政治现实需要认清。举个例子，就像今天我们要向国家科学基金提出资金申请，但如果在开始这个申请流程时就冒犯了负责对申请进行裁定的评审小组，这显然是缺乏政治智慧的。对伽利略来说，出版一本含有冒犯教皇内容的书，也是缺乏政治智慧的。然而，他于1632年出版的书似乎确实冒犯了教皇。而且，还有一些人试图让教皇相信自己应该被冒犯，而这显然是火上浇油。

对伽利略审讯的细节很复杂，而且从某些方面来说是颇具争议的，然而最终的结果是他的书被教会列为禁书，而伽利略本人被裁定为有持异教思想的嫌疑，并被判终身监禁。同时，他还被要求正式宣布日心说观点是假的。伽利略在家中度过了余生，于1642年逝世。然而，在被软禁在家时，伽利略仍然得以继续工作，他回顾了自己早期关于运动物体力学的著作，并写出了关于这一话题的某些重要著作。

考虑到与教会有关的一些问题，与伽利略同时代的很多人对公开支持日心说观点都持犹豫的态度，这完全可以理解。然而，新发现不断出现，比如开普勒发现一个包含椭圆轨道和变速运动的体系可以比其他任何体系都更好地解释数据；基于这一体系，开普勒于1627年发表了远优于其他人的天文学表格；还有伽利略通过望远镜取得的证据，等等，最终这些新发现的累积效应将会说服大多数关注过诸如“地球和行星确实围绕太阳运转，并且沿椭圆形轨道做变速运动”一类问题的人。而这反过来

又会给当时存在的世界观造成一系列问题。接下来我们将探讨这些问题。

第18章　亚里士多德世界观所面临问题的总结

假设你和我生活在17世纪上半叶，我们一直关注新发现的发展。我们对伽利略通过望远镜得到的证据都很熟悉，也发现这些证据让传统的托勒密地心说观点遇到了问题。我们同样很熟悉开普勒关于宇宙的更为简单的模型，在这个模型中，行星沿椭圆形轨道运动，且在轨道不同点上的运动速度也有所不同。我们承认开普勒体系可以做出更好的预言和解释。我们也意识到了，开普勒在17世纪20年代出版的天文学表格以其构建的新体系为基础，具有明显的优势。总的来说，假设我们已经相信开普勒的日心说观点是正确的（而且很有可能的是，至少到17世纪中叶，大多数一直关注这些发展的人也都会跟我们一样相信开普勒的观点是正确的了）。简言之，此时我们认为地球和其他行星沿椭圆轨道以变化的速度围绕太阳运转，同时地球沿其自身轴线转动，一天转动一圈。这些观点会给亚里士多德世界观带来多种多样的问题，而本章的主要目标就是对这些问题进行总结。

我必须指出，此时并不是每个人都已接受了日心说观点。我们在前面几章中看到了，关于一个观点（这里我指的是地心说观点），不管积累了多少证据，总还可以选择坚持这个观点，而摒弃多个辅助假设，或者在某些情形中，是对这个观点的某些部分进行修改，而坚持这个观点的核心部分。举个例子，正如我们在前一章里讨论过的，伽利略通过望远镜所得到的证据，特别是对金星相位的发现，强有力地反驳了托勒密地心说体系。然而，第谷的地心说体系却可以与金星相位保持一致，就此而言，第谷体系可以与通过望远镜获得的全部证据保持一致。对那些坚持秉持地心说观点的人们来说，第谷理论变成了完美的理论。我们在第15章讨论过，第谷体系仍然是为数不多的地心说理论支持者所偏爱的体系。

尽管如此，似乎很明确的一点是，到了17世纪中叶，大多数跟踪着新发现发展的人都已经相信日心说观点是正确的。然而，接受这个有关地球和宇宙的观点会给亚里士多德世界观造成一系列问题，在本章接下来的篇幅中，我的主要目标就是对这些问题进行一下总结。除此之外，我们将简要讨论与之紧密相关的命题，也就是“这个关于宇宙的新观点需要一种新科学”的事实，具体来说，这是一种可以与运动的地球保持一致的科学。首先，我们将总结一下亚里士多德世界观的问题。

| 亚里士多德世界观的问题 |

如果地球在运动，既围绕自身轴线旋转又围绕太阳运转，那么是什么使我们停留在地球上，为什么重量大的物体会向下落？回忆一下，在亚里士多德世界观中，重量大的物体有一种向宇宙中心运动的天然趋势，我们正是因此而留在地球上，这同时也是重量大的物体向下落的原因。但是，如果地球不是宇宙中心，那么亚里士多德世界观拼图中的这

块拼板就不能保留了。

除此之外，是什么因素使地球始终保持运动？在亚里士多德世界观中，运动的物体总会停下来，除非有外界因素使这个物体保持运动。这个观点与我们日常生活中的经验一致，但如果地球是运动的，那么这块拼板一定也是错的。

同样地，当我们将一个物体竖直向上抛出后，为什么它会重新落到我们手里？在亚里士多德世界观中，关于这一点的标准观点是，如果地球在运动，那么物体在空中运动时，我们应该已经因为运动而离开了物体所在位置的下方。因此，抛出的物体所做的运动，成了亚里士多德世界观拼图中又一块不能保留的拼板。

如果地球每天围绕自身轴线旋转一周，那么由于这个运动，我们应该是以1000英里/小时的速度在运动。如果地球围绕太阳运转，那么地球一定是以超乎想象之快的速度在其围绕太阳的轨道上运动（现在我们知道这个速度是将近70000英里/小时）。但是，根据亚里士多德世界观中的常识性观点，我们应该预计能注意到这些高速运动所带来的效果。那么为什么我们并不觉得自己在运动呢？为什么没有强劲的风吹过脸颊？为什么我们感受不到高速运动通常会产生的震动和其他效果？

另一方面，开普勒体系的椭圆形轨道和不断变化的运动速度又产生了什么影响？根据亚里士多德世界观，要解释天体的持续运动，比如行星的持续运动，需要以“天空是个完美地方”的观点为基础。沿正圆轨道以不变的速度进行的持续运动才是适合于天空的运动。也就是说，如果天空是个完美地方，我们就不能预计在天空中看到沿椭圆形轨道、以变化的速度进行的运动。所以，新出现的观点对亚里士多德世界观中“天空是个完美地方”的观点提出了严峻挑战。

同样地，亚里士多德世界观拼图中“宇宙比较小而舒适”的观点所对应的那些拼板也不能保留了。如果地球围绕太阳运转，当我们从地球轨道上一点运动到与此相对的最远的一点时，我们在宇宙中的位置会发生非常大的变化（我们知道这个变化距离是将近200000000英里）。随着地球围绕太阳运转，我们也进行了运动，且因这个运动经过的距离非常非常远，那么要解释为什么我们没有观察到恒星视差，唯一的答案就是恒星与我们之间的距离远到超乎想象，因此，宇宙一定大到无法想象，甚至是无限大的。

但是，一个无限大的宇宙并不能与亚里士多德世界观拼合在一起，特别是不能与亚里士多德天然运动的观点保持一致。无限大的宇宙既没有中心，也没有边界。因此，对基本元素天然运动的描述，不管是朝向宇宙中心的运动还是远离宇宙中心的运动，放在一个无限大的宇宙里都是无法实现的。

除此之外，到了这个时候，基督教神学和亚里士多德宇宙观已经紧

密融合在一起（特别是在欧洲），因此对其中一个提出了挑战，就意味着同时挑战了另一个。在这个由基督教和亚里士多德世界观混合而成的拼图中，即使是“宇宙虽然巨大，但仍然有限”的观点也不能很好地拼合进去。举个例子，回忆一下，月上区域在很长一段时间内都被认为是个完美地方，此时人们已经认定这种完美是与基督教中的“上帝”相关联的。“天堂”本身就被认为存在于这个完美区域里，事实上，天堂常常被认为存在于恒星球面之外的区域。恒星球面（与行星所在的各个球面相似）出于对完美的渴望而运转，尽管此时完美是与基督教的上帝相关联的。不过，请注意，在日心说观点中，恒星球面不再运动。更糟糕的是，恒星球面已经没有存在的必要了。毕竟，如果恒星不运动，那么这样一个球面就没有作用了。因此，在日心说观点中，恒星不再被看作是镶嵌在一个单独的球面上，而是散布在巨大的甚至可能是无限大的宇宙中。因此而遭到动摇的观点不仅包括“天堂存在于恒星球面之外”，还有“基督教的上帝在宇宙运转中扮演着一个无所不在的角色”。简言之，日心说观点需要一个巨大的宇宙，而这样的宇宙也给宗教观点带来了挑战。

现在让我们转向亚里士多德世界观更为抽象的部分，思考一下亚里士多德世界观中关于“宇宙是有目的的，而且有本质存在”的观点。举个例子，回忆一下亚里士多德世界观对物体为什么向下落、是什么使我们停留在地球表面以及行星和恒星运动的解释。这些解释都以“宇宙是有目的的，而且有本质存在”的观点为基础。然而，如果地球围绕太阳运动，那么这些根据亚里士多德世界观所构想出来的解释就行不通了。这就使亚里士多德世界观中关于“宇宙是有目的的，且有本质存在”的观点遇到了问题。

如果宇宙主要由大块空荡荡的空间组成，而我们所生活的地球只是在宇宙中运动着的一粒尘土，那么人类在宇宙中扮演怎样的角色呢？回忆一下，亚里士多德和托勒密的地心说模型并不是出于宗教原因而发展出来的，然而，尽管如此，地心说模型后来仍然与西方宗教观点很好地拼合在了一起。这样的宗教观点倾向于认为人类是上帝创世的中心，这与亚里士多德世界观中“地球是宇宙中心”的观点很好地拼合在了一起。因此，新科学发现给亚里士多德世界观中有关宗教的观点，特别是“人类很特别”的观点，带来了问题。

请注意，亚里士多德世界观所面临的并不是相互孤立的、只涉及外围拼板的小问题。相反，这些问题都与亚里士多德世界观的核心观点有关。正因如此，对亚里士多德世界观进行修正，也就是用新的拼板替换拼图中的旧拼板，但同时仍然保持整个拼图基本不变，并不是一个现实可行的选择。相反，此时需要的是一个新的世界观。重点是，新的世界观需要新的科学观点。换句话说，新的世界观将需要一种新科学作为其自身的一部分。接下来，我们将简要探讨一下那时所需的是什么样的新科学。

| 对新科学的需求 |

正如在前面强调过的，17世纪早期新科学发现的影响远远超过判断地心说和日心说哪一个是正确观点的范畴。举个例子，在2000多年的时间里，整个亚里士多德科学体系一直占统治地位，而这个科学体系的基础几乎完全是一个以地球为中心的宇宙。因此，地心说观点的瓦解同时意味着亚里士多德科学体系的瓦解。更糟糕的是，那时并没有别的科学体系来替代它。

举个例子，亚里士多德世界观对下落物体的解释是，重量大的物体有一种向宇宙中心运动，也就是向地球中心运动的天然趋势，而当地球围绕太阳运转时，这个解释就不再适用了。因此，在17世纪早期，即使是对“为什么石块会向下落”这样简单的问题，也不存在解释。同样地，“为什么地球在其围绕太阳的轨道上以难以想象的高速运动时，我们却觉得自己似乎是静止的”，这个问题也没有答案。与此类似，“当我们竖直向上抛出一个物体时，为什么它会落回到我们将其抛出时的位置”，这个问题也没有得到解释。开普勒提出的椭圆形轨道，以及是什么因素使行星获得了最初的运动，也都没有得到解释。简言之，存在了2000多年的科学已经不能再为人们所接受，但同时还没有出现一种新的科学来替代它。

对于有关宇宙的新观点，包括“地球围绕太阳运转”的观点，需要有一种与之相适应的新科学。从根本上说，新科学必须能与运动的地球保持一致。这个新科学最核心的部分最终将由牛顿提出，我们将在后续两章中进行讨论。

| 结语 |

我不想让你产生这样一种印象，也就是亚里士多德世界观拼图从亚里士多德时代到17世纪一直保持完好无损，然后，几乎是一夜之间，这个拼图就不能再为人们所接受了。事实上，从亚里士多德所生活的时代到17世纪的2000多年中，亚里士多德世界观拼图经历了很多变化。举个例子，在最初的亚里士多德世界观拼图中，西方世界的主要宗教并不是其中一部分，但是，这些宗教观点在中世纪被加入了亚里士多德世界观。同样地，最初的亚里士多德世界观对运动的观点也得到了修改，其中一些修改为17世纪发现惯性定律创造了条件。

然而，尽管有这么多变化，这个世界观仍然是亚里士多德世界观。根据这个世界观，地球在宇宙的中心，月球之外的区域是完美的天空，宇宙被认为有本质存在、有目的，且相对较小、较舒适。这些关于宇宙的观点与当时占统治地位的宗教观点都可以很好地拼合在一起。

17世纪早期的新发现不仅使人们关于宇宙的具体观点发生了变化，更使人们对“我们生活在怎样的宇宙中”的整体认识发生了变化。过去那

个有目的、有本质存在、以地球和人类为中心的宇宙已经不复存在了，一起消失的还有关于“我们居住在怎样的宇宙中”的整体认识。接下来两章的重点将是替代了亚里士多德宇宙观的观点。

| 几点注意 |

在这里，简要重复一下最初在前言部分中提到过的几点注意，可能是个明智的做法。我们现在所研究的是在很长一段时间内留下了浓重一笔的人物和事件。在这种情况下，关于人们和事件之间的相互影响和关联，会存在一些过于简单化而又会产生误导的观点，这些观点很容易就会把我们引入歧途。

举个例子将会有助于解释这一点。我们刚刚探讨过，基于17世纪的某些发现，亚里士多德世界观已经站不住脚了。除此之外，我们看到了，当时需要的是一种新科学，也就是一种可以与运动的地球保持一致的新科学。在接下来的两章中，我们将看到牛顿所做的努力如何为当时所需的新科学提供了核心部分。

确实，亚里士多德的科学体系行不通了，对新科学的需求确实存在，牛顿也确实为新科学提供了核心内容。然而，如果认为牛顿本人有意并直接尝试填补因亚里士多德科学体系瓦解而出现的真空地带，这就不是真的了，或者至少这个观点会产生误导。换句话说，举个例子，如果认为牛顿是在我们刚才所讨论问题的直接影响下直接解决了这些问题，那么我们就很容易偏离本来所要讨论的人物和事件，但这样的偏离将会是错误的。

通常来说，真实情况要复杂得多。牛顿，跟我们大家一样，是一个复杂的个体，会受到一系列复杂因素的影响。牛顿与当时支持竞争理论的人进行的较量、其早期研究成果的接受情况、其本人的性格冲突、当时社会上对什么人首次发现了什么事的争论，甚至可能还有牛顿童年时期与母亲的关系，都对牛顿产生了影响和激励。总的来说，大量复杂的因素在牛顿的研究工作进程中扮演了重要角色。

通常，对诸如我们在此所研究的那些人物和事件来说，其背后总有很多复杂因素。正如在前言里提到过的，我认为通常的研究方法，比如本书所采用的方法，都是很有价值的，但我鼓励你牢记，在我们所研究的人物和事件背后都有很多微妙的因素。同时，我在前言里也提到过，当你读完这本书时，我希望你发现自己受到了启发，想要继续深入研究这些复杂微妙的因素。

理解了前面这简要的几点，让我们开始探讨新科学和新世界观的发展。

第19章　新科学发展过程中的哲学性/概念性关联

17世纪是个美妙的时代，出现了数量众多的变革，包括科学、哲学、宗教和政治等领域的变革。这些领域之间的相互作用和相互促进令人惊叹，而且与人们通常所认为的情形大为不同。17世纪哲学/概念领域的变革影响了科学发现，反之亦然；同样地，宗教、政治和科学领域的变革也都对彼此产生了相互影响。

本章的主要目标是解释这些领域如何可以相互影响。由于篇幅所限，我们无法细致讨论，但至少可以大致了解这些看起来不同的领域对彼此所造成的影响。具体来说，我们将研究的内容包括尼古劳斯·冯·库斯和乔达诺·布鲁诺的某些宗教和哲学观点如何影响了17世纪的发展，以及原子论中某些从很大程度上说是形而上学的观点是如何在这个过程中发挥作用的。以上只是两个例子，但已足以让我们体会到这些看似不相关的理论是如何相互影响、相互联系的。首先，我们将探讨某些关于宇宙大小的命题。

| 宇宙的尺寸 |

回忆一下，根据亚里士多德世界观，宇宙应该相对较小。恒星被认为镶嵌在一个球面上，球面的中心就是地球的中心。这个球面通常被称为恒星球面，被认为是宇宙最外侧的边界。尽管我们的前人认为宇宙很大，但还是无法想象宇宙到底能有多浩瀚。事实上，相对于我们对宇宙大小的概念，他们所知道的宇宙仍然相对较小。

这个相对较小的宇宙的概念，在17世纪将出现变化。在望远镜的帮助下，伽利略发现了无数前所未知的恒星，这本身就意味着宇宙可能比人们先前所认为的要大得多。说得更直接一点，如果要让更多的人接受"地球围绕太阳运转"的观点，就需要有一个更大的宇宙。回忆一下，对于"为什么地球必须是静止的"，托勒密最强有力的论据是，我们没有观察到恒星视差。也就是说，如果地球围绕太阳运转，那么我们的运动应该会造成恒星之间相对位置的明显偏移。但是，由于我们没有观察到这样的偏移，也就是说我们没有观察到恒星视差，那么地球一定没有在运动。

我们在第10章中已经讨论过了，这是关于地球静止的一个强有力论据，如果在没有观察到恒星视差的情况下要使"地球在运动"的观点成立，那么只能有一种可能，那就是恒星与地球之间的距离比亚里士多德世界观中所认为的要更加遥远，远到难以想象。所以，现在既然地球已经显然是围绕太阳运转的，我们也就必须承认宇宙比我们曾经所想象的要浩瀚得多。

在16世纪晚期和17世纪早期，如果说宇宙很大，也许是无限大，是很难让人接受的。即使是今天，宇宙的大小仍然让人难以想象。我们所

说的宇宙到底有多大，这值得花点时间来理解一下。让我们首先思考一下太阳和太阳系。要了解太阳和太阳系的大小，让我们假设有一个太阳系的模型。我们要首先给模型确定一个比例尺，那么就让我们把地球想象成一个常见的地球仪那么大（通常直径为1英尺）。如果地球的大小与一个常见的地球仪相当，那么太阳就相当于一幢10层高的大楼，距离地球大约2英里。让我们暂停一下，想象一下这个情形：地球就是一个地球仪，太阳在2英里开外。刚刚我们所考虑的太阳与地球之间的距离，其实已经是一个相当远的距离了。根据这个比例尺，我们所在的太阳系中，距离太阳最遥远的行星，大小就会与一个网球相当，而且将会在80英里之外。同样，让我们再停下来想一想这个情形：一幢10层高的大楼代表太阳，在距其2英里处，有一个直径1英尺的地球仪代表地球，而在距其80英里处，有一颗网球代表太阳系中最遥远的行星。是的，太阳系非常巨大。事实上，我们所认为的太阳系的大小，已经远远超过了我们的前人所认为的整个宇宙的大小。

现在，请注意，太阳只是银河系中上千亿颗恒星中的一颗。根据前面所描述的比例尺，也就是，如果地球是一个常见的地球仪那么大，那么除太阳以外，距离地球最近的恒星将位于500000英里之外。在整个宇宙范围内，这颗恒星是紧挨着我们的邻居，那么在银河系中距离地球最近的邻居将在500000英里之外。简言之，恒星彼此之间隔着巨大的空间。

除此之外，到目前为止我们所讨论的仍然是自己所在的星系，也就是银河系。银河系由我们所在的宇宙区域内上千亿颗恒星组成。顺带提一下，即使在最黑暗的夜晚，你也只能看到这些恒星中很小的一部分，大约有3000颗，而且你所看到的所有恒星都是银河系中的恒星。

由于有数以千亿计的恒星存在，理解我们所在星系之浩瀚是非常困难的。然而，在看得见的宇宙中，我们所在的星系只是数以千亿计的星系之一，每一个这样的星系都像我们所在的银河系一样包含上千亿颗恒星。就算是对我们来说，当我们停下来仔细想一想，也会发现宇宙之大，难以想象。

现在，请尝试想象自己生活在17世纪早期的欧洲。从小到大，你所接受的观点极有可能都是上帝为人类创造了宇宙，你也很可能认为“宇宙相对较小、较舒适，且地球位于宇宙中心”是很有道理的。这样的画面看起来很舒服，画面中的宇宙看起来似乎有道理。然而，现在，几乎是一夜之间，就有了理由来认为地球不是宇宙中心，宇宙一点也不小、不舒适，而是大到超乎一切想象。我们的地球就像落入大海中的一滴水。要理解这些观点在当时有多么让人难以接受，一点都不困难。

在此之前的几个世纪里，几个哲学家和神学家都曾经从哲学角度提出，宇宙是无限大的，其中有无限多的恒星，唯有这样的宇宙才可以与无限伟大的上帝相称。这些人中最值得注意的是尼古劳斯·冯·库斯（1401—1464）和乔达诺·布鲁诺（1548—1600）。这里，必须强调的

是尼古劳斯·冯·库斯和乔达诺·布鲁诺都不是科学家，他们的观点几乎全都是以哲学和宗教为基础的。

在其有生之年，冯·库斯和布鲁诺关于宇宙无限大的观点都没有得到广泛认可。（比如，布鲁诺因其观点而遭受宗教裁判迫害，在1600年被当作异教徒而活活烧死）。然而，到了17世纪早期，人们对于“宇宙很大，而且可能是无限大”的认识开始逐渐变得清晰，此时冯·库斯和布鲁诺的观点则使这个“宇宙无限大”的观点变得更易于接受了。他们认为，无限大的宇宙反映了上帝的无限伟大，这个观点有助于使这些难以理解的新观点得到接受。

从某种意义上说，我们现在所讨论的就像是某种概念上的创可贴。在17世纪，我们不得不接受宇宙比我们曾经所想象的要大得多的观点。从概念上来说，这个巨大的宇宙并没有什么意义，我们需要某种方法使这个新观点与我们对整个宇宙的认识拼合在一起。冯·库斯和布鲁诺的观点发挥了这个作用，也就是在关于宇宙大小的新观点融入当时现存世界观的过程中，两人关于“无限大的宇宙反映了上帝之无限伟大”的观点发挥了作用。

不仅如此，同时值得注意的是，冯·库斯和布鲁诺的观点还与一种被称为“原子论”的古老哲学联系在了一起。原子论可以追溯到古希腊哲学家留基伯和德谟克利特（公元前5世纪），以及继承了这两人思想的伊壁鸠鲁（公元前341—公元前270年）和卢克莱修（公元前99—公元前55年）。后来，原子论在16世纪晚期和17世纪成为在欧洲广受欢迎的一种观点（在17世纪，这种原子论观点通常被称为“微粒”观点）。原子论在这一时期复兴，背后有很多原因，其中部分原因就与冯·库斯和布鲁诺的哲学变得越来越受欢迎有关。

根据原子论，世界说到底是由原子和虚空两部分组成的。原子被认为是微小的、不可分割的粒子，也就是实际上可能存在的最小粒子。另一方面，虚空与我们所知的真空十分相像，也就是说，是一个完全空旷的空间。有些原子聚集在一起，形成了我们在身边所看见的物体。另外有一些原子只是在空旷的空间（也就是虚空）中飞过。在虚空中飞过的这些原子，其运动模式就像台球一样，也就是说，它们沿直线运动，除非与其他单个或多个原子发生碰撞。如果发生了碰撞，这些原子会像台球碰撞后弹开一样彼此弹开。

原子论更多的是一个形而上学的哲学性/概念性观点，而不是一个经验性观点。不可能观察到原子在虚空中运动，也不存在任何好的经验证据来支持“世界归根结底由原子和虚空组成”这一观点。然而，尽管原子论更多的是一个哲学性/概念性观点，但仍然可以与当时逐渐兴起的观点很好地拼合在一起，而且在发展新的科学观点方面成果显著。

举个例子，思考一下惯性定律。根据惯性定律，一个运动的物体将会永远保持直线运动，除非有外力作用于它。我们在前面讨论过，笛卡

尔是第一个对现在所说的惯性定律进行清晰表述的人。笛卡尔受到了原子论观点（或微粒观点）的影响，但这并不是巧合。回忆一下，我们在前面讨论过，惯性定律是一个特别反直觉的定律，而且是17世纪时人们所能得出的比较难以理解的定律之一。然而，思考一下原子论和无限大的宇宙。让我们关注一个在空间中运动的原子，并假设这个原子绝不会与另一个原子相碰撞。根据原子论，这个原子将会如何运动？答案是：它将永远保持直线运动。然而，这实际上就是惯性定律了。换句话说，如果接受了“宇宙无限大”的概念，而且根据原子论来认识整个宇宙，那么惯性定律就不那么难以理解了。因此，我们发现，“宇宙无限大”的概念和原子论哲学有助于人们理解17世纪发现的主要科学定律，也就是惯性定律。

重点是，我不想让你觉得惯性定律的发现只是接受“宇宙无限大”的概念并同时运用原子论哲学的结果。惯性定律是通过各种实验、运用了认识宇宙的新方法并由很多人在很长一段时间内付出了巨大努力后才发现的。不过，就像与宇宙大小有关的情形一样，有些领域通常被认为是相互独立的，但彼此之间的相互影响事实上多到令人惊讶。

17世纪的发展和变革是一个非常复杂的故事，我们在前面只是简要讨论了一部分。认识到“宇宙很大，可能无限大”，以及发现惯性定律，主要是科学领域的命题。但是，正如我们在前面讨论中所看到的，与这些科学领域新观点的发现和接受相关的，是大量形而上学的、哲学性/概念性以及宗教领域内的观点，这些观点数量之多，超乎想象。

| 结语 |

在本章开头，我们强调了，17世纪是充满变革的时代，包括哲学/概念领域变革、宗教变革、政治变革，当然还有科学领域的变革。我们的目标是在这简短的一章中大致了解一下某些哲学性/概念性观点与某些更直接明确的科学观点是如何相互影响并推动彼此发展的。这些领域之间的互动非常复杂而迷人，在这一章中，我们对此至少有了一些体会。

第20章　新科学和牛顿世界观概述

17世纪新科学的发展是很多研究人员共同努力的结果。然而，将这些努力汇集在一起的，则是牛顿在1687年发表的著作《自然哲学的数学原理》。这部著作通常被简称为《原理》（Principia，源于这部著作的拉丁文名称Principia Mathematica Philosophiae Naturalis）。《原理》展示了一种新的物理学，与运动的地球保持一致，同时建立了我们现在所认为的牛顿科学的核心。这部著作还提供了一个易于使用的方法，可以用来研究牛顿世界观，也就是一个新的观点拼图，一个可以替代亚里士多德世界观的观点拼图。

我们在这一章的主要目标是探讨牛顿科学和新（牛顿）世界观。我们将从对牛顿科学的概述开始。

| 新科学 |

我们在第18章中讨论过，亚里士多德世界观的核心部分无法与运动的地球拼合在一起，因此，接受了地球围绕太阳运转，就意味着需要一种全新的科学。当时出现的新科学是许多人经过几十年不断努力的结果。正如前面提到过的，这个新科学随着牛顿著作的出现而最终成型。正因如此，我们将主要研究一下牛顿科学，尽管我们不应该忘记牛顿的研究也得益于其他科学家的努力。（同样值得一提的是，在戈特弗里德·莱布尼茨（1646—1716）创立微积分学的同时，牛顿也独立创立了微积分学。微积分学是牛顿科学发展过程中的一个重要数学工具，直到今天，也仍然是应用最为广泛的数学工具之一。）

《原理》是一部内容丰富翔实的著作，其最新英文译本一共有大约600页。然而，究其核心，通常认为牛顿科学由运动三大定律和万有引力定律组成。当然，在这600页中，牛顿并不只是提出了一系列运动定律和万有引力概念。尽管如此，把万有引力概念和运动定律当作牛顿科学的核心，仍然是有一定道理的。那么，接下来，我们将对此进行探讨，同时也将对某些与牛顿科学相关的普遍命题进行讨论。

| 运动三大定律 |

牛顿《原理》的第一部分是定义，在这一部分里，牛顿解释了在书中他将如何使用各种术语。接下来是一个很简短的部分（大约10页），在这里牛顿提出了运动三大定律。

牛顿第一定律是我们现在通常所说的惯性定律。我们在第12章中第一次讨论了惯性定律，在那一章中，对惯性定律的表述与现在通常所使用的表述相同：任何物体在不受任何外力的作用下，总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态。牛顿对惯性定律

的表述稍微有些不同，但他的表述与现代通常所用的表述在意思上是等价的。

我们在前面讨论过，惯性定律与我们的日常经验相矛盾，是能在17世纪得出的比较难以理解的定律之一。惯性定律的多种前身在16世纪得到了广泛探讨，在17世纪早期，伽利略对运动的物体进行了一系列研究，几乎正确总结出了惯性的核心概念，但还是差了那么一点儿。到了17世纪中叶，笛卡尔对惯性进行了准确的总结表述，牛顿的运动第一定律从很大程度上说是借鉴了笛卡尔的表述。

要理解牛顿运动第二定律，思考一下击打棒球时的情形。你越用力击打棒球，棒球飞出的速度就会越快，飞出的距离会越远。也就是说，棒球运动的变化与其所受到的力（也就是你击打棒球时所用的力）是成正比例的。更全面地说，牛顿运动第二定律的表述是，物体运动的改变与其所受作用力成正比，而且与其所受作用力的方向成一条直线。这条定律通常被归纳为F＝ma，也就是物体所受作用力等于质量乘以加速度。在击打棒球的例子里，根据这条定律，物体的加速度将等于其所受作用力除以物体质量。

牛顿运动第三定律的表述是，对任何作用力，总会存在一个方向相反、大小相等的反作用力。对这条定律的标准解释运用了手枪的后坐力，也就是射出一颗子弹的动作会使手枪在子弹射出方向的相反方向产生大小相等的反作用，也就是手枪在相反方向的后坐力。

| 万有引力 |

运动三大定律是牛顿科学的核心组成部分，然而在《原理》中只占了两页纸的篇幅。另一个关键组成部分，也就是万有引力概念，解释起来多少更加复杂一些。在这一节，我想解释一下牛顿在《原理》中是如何逐渐建立起万有引力概念的，然后，在本章的最后一节（也就是结语之前），我会讨论一下为什么牛顿要采用这种逐步推进、小心谨慎的方法。让我们从现在对万有引力概念的通常表述开始。

万有引力通常都被表述为任意两个物体之间的相互吸引力。举个例子，太阳的万有引力作用吸引着地球向太阳靠近，与此同时，地球的万有引力作用也吸引着太阳向地球靠近。同样地，当我扔出一本书，地球的万有引力作用将书往地球的方向吸引，然而，与此同时，书的万有引力作用也把地球往书的方向吸引。书的万有引力作用实际上对地球没有效果，这是因为地球的质量远远大于书的质量；同样地，在前面关于太阳和地球的例子中，太阳的质量远远大于地球的质量，这就解释了为什么相较于太阳的万有引力作用对地球的效果，地球的万有引力作用对太阳可以说几乎没有影响。

更具体地说，两个物体之间的万有引力作用与物体的质量成正比例。也就是说，物体质量越大，万有引力作用越强。同时，万有引力作

用与两个物体之间距离的平方成反比例，因此，随着物体之间距离的增加，它们之间的万有引力作用迅速减弱。

以上所说的就是现在我们通常对万有引力的表述。事实上，这种对万有引力的表述也是《原理》中的表述。然而，相较于在开篇即得到了完整、简明表述的运动定律，万有引力概念的提炼和描述则有所不同，是一个逐渐展开的过程。

除去序言，在《原理》最开始的几页中，也就是在关于定义的那个部分中，牛顿就首次讨论了重力。然而，此时，牛顿用“重力”指代把物体往地球方向吸引的作用力，很明显，这里所使用的这个术语，其含义并不是“万有引力”。随后，在书中（实际上是400页以后），牛顿表明地球的重力作用肯定至少影响了月球，而且是月球轨道形成的原因。同时，牛顿还表明，不管其他行星的卫星（如木星的卫星）是在什么作用力的作用下保持在其自身轨道上运行，那个作用力一定与地球的重力特点相同（也就是，这个吸引力与物体的质量成正比，与物体之间距离的平方成反比）。牛顿还表明，使行星始终沿其轨道围绕太阳运转的作用力一定也与地球的重力特点相同。此时，也就是在《原理》第三卷的命题七中，牛顿一切准备就绪，提炼出了重力的概念：重力普遍存在于一切物体中。

那么在这里，我们最终得到了一个完整的“万有引力”概念。在《原理》结尾的部分，牛顿向我们展示了“万有引力”概念与运动定律的解释能力，让人印象深刻。《原理》是一部革命性的著作，虽然其中的概念数量不多（也就是运动三大定律及万有引力），但却可以解释种类广泛、数量众多的现象，确实令人赞叹。

| 牛顿世界观概述 |

重申一下，亚里士多德世界观是一个以地球为中心的世界观。“地球在宇宙中心”的观点并不是一个简单的外围观点，而是核心观点，不能在不替换观点拼图中其他大多数拼板的情况下替换这个观点。牛顿科学为一个新的观点拼图提供了很多科学拼板，具体来说，牛顿所提供的科学体系在解释方面能力卓著，而且，重点是，这个科学可以与运动的地球保持一致。值得注意的是，亚里士多德世界观拼图中的大多数拼板，不只是科学相关的拼板，也包括哲学性/概念性拼板，都不能与这个新科学相适应。换句话说，我们需要一系列新的哲学性/概念性拼板来与牛顿所提供的与科学有关的拼板进行组合。

举个例子，在亚里士多德世界观中，宇宙被认为是有目的、有本质存在的。物体因其内在的本质性质而形成其运转模式。而在牛顿科学中，物体运转模式的形成原因不再是其内在本质；相反，物体是在外力的影响下而形成其运转模式。整个亚里士多德世界观中关于宇宙的观点，也就是认为“宇宙充满了目标和目的”的观点，不能与新科学拼合在一起，而且事实上，此时宇宙已开始被看作是更像一台机器。在一台机

器中，不同的零件之间彼此推拉，而各种零件之所以会有如此表现，原因正是其他零件所施加的作用力，同样地，宇宙中的物体也开始被认为是在其他物体的推拉和外界作用力的影响下而形成其运转模式了。

这个机器的比喻在新世界观中占了主导地位。在这样一个宇宙中，外界作用力的推拉是理解宇宙中物体运转模式的核心；而这样的宇宙观几乎与亚里士多德的整体观点完全相反。简言之，与亚里士多德世界观科学紧密相连的宇宙观，也就是认为“宇宙是有目的、有本质存在”的观点，被一个新的机械论的宇宙观所替代，而且这个把宇宙当作机器一样的宇宙观与新科学是紧密相连的。

随着机器比喻的出现，人们对神明的观点也发生了变化。重申一下，对亚里士多德本人来说，神明并不是宗教的神明，而是解释恒星和行星为什么可以持续运动时所需的因素。正如我们在前面提到过的，几百年以后，亚里士多德关于神明的概念被基督教、犹太教和伊斯兰教中上帝/真主的概念替代了。所以，尽管亚里士多德世界观中神明的概念发生了一些变化，但是亚里士多德世界观中的一个核心概念并没有发生变化，也就是，在宇宙的运转中，上帝是一个必要的组成部分。换句话说，在亚里士多德世界观中，出于科学原因的考虑，需要有上帝或者类似上帝的存在，因为这是天体能够保持运动的原因。

然而，在新科学中，不需要这样的因素来使宇宙运转。举个例子，行星的运动被解释成是惯性（运动的物体会保持运动，由于行星本身就是运动的物体，所以会保持运动）及重力作用（重力作用解释了行星为什么围绕太阳运动，而不是沿直线运动）共同的结果。简言之，新科学不再需要上帝来使宇宙运转。

宗教观点通常都不容易改变，所以，毫不意外，人们并没有放弃自己的宗教观点。然而，上帝的概念则发生了相当大的变化。具体来说，上帝开始被认为是像一位钟表匠，也就是说，上帝设计、构建了宇宙，并让宇宙运动了起来。但从这以后，宇宙可以自行运转，并不需要前一个世界观里所必需的神明来持续介入。

与此同时，对个人在社会中所扮演的角色，普遍认知也发生了变化。亚里士多德世界观中所包括的应该是一种可以被称为等级观的观点，也就是说，就像每个物体在宇宙中都有其天然的位置一样，每个人在其所处的整体环境中同样有自己天然的位置。举个例子，思考一下国王们所拥有的神圣权利。这背后的逻辑是，成为国王的人命中注定要成为国王，这是他在自己所处的整体环境中合适的位置。有趣的是，在坚持“国王有神圣权利”信条的最后一代君主之中，有一位是英国国王查理一世。直到17世纪40年代，自己被推翻、审判并处决时，查理一世国王仍然在维护这个并不能让人信服的信条。西方世界近代史上主要的政治革命，也就是发生在17世纪40年代的英国革命，以及随后发生的美国和法国革命，其过程中都以个人权利为重点诉求，这些革命都发生在亚里士多德世界观被摒弃以后，很可能这并不是巧合。

总的来说，在亚里士多德世界观中，宇宙是一个比较小而舒适的空间，同时，地球在宇宙的中心。宇宙充满了天然目标和目的，因此这是一个目的论、本质论的宇宙观。这个宇宙观也延伸到了人的身上，每个人在自己所处的整体环境中都有一个天然位置，就像物体在宇宙中都有各自的天然位置。而且，在日常生活中，需要有上帝或与上帝类似的存在来使宇宙保持运动。

随着新世界观的出现，以上所有观点都发生了变化。现在，宇宙被认为是广阔的，甚至可能是无限大的，太阳只是太阳系的中心，行星围绕太阳运动。宇宙现在还被认为是像机器一样，物体不再为了实现某个目的或目标而运转。相反，物体是在没有目的的外力作用下运转。同时，也不需要上帝或类似上帝的存在来使宇宙运转了。事实上，宇宙一天一天保持运转，就像钟表每天滴滴□□不停地走。

| 哲学思考：对待牛顿重力概念的工具主义和现实主义态度 |

牛顿世界观中通常的重力概念有一个方面相当有趣，值得我们在结束这一章之前花点时间讨论一下。这个有趣的方面与我们在前面讨论过的某些核心哲学命题息息相关，而且从某种程度上来说，也可以解释我们在前面所提到过的牛顿在《原理》中为什么要采取一种渐进且谨慎的方式来提出重力概念。

具体来说，我想花点时间来探讨，为什么重力概念从某个特定角度来看是个奇特的概念。让我首先举个例子，在本书后面的篇幅中，我还会用到这个例子。假设我把一支钢笔放在桌子上，我让你把钢笔移动一下，但前提是不能跟钢笔有任何形式的联系。你不能碰钢笔、不能向钢笔吹气、不能向钢笔扔东西、不能摇桌子，等等，总之就是根本不能与钢笔有任何形式的联系。尽管不允许你与钢笔有任何形式的联系，但我还是要求你把钢笔移动一下。你几乎肯定会认为我在让你完成一个不可能完成的任务。之所以认为我在让你做一件不可能的事情，是基于一个已经成为常识的判断，这个判断的起源至少可以追溯到古希腊。这个判断说的是，一个物体（比如你）不可能在不存在任何形式的联系或交流的情况下对另一个物体（比如钢笔）产生影响。用通俗的话来说，这个判断通常都被总结为，“超距作用”不可能存在。

现在，让我们回到重力概念。重力通常都被认为是物体之间的吸引力。举一个典型的例子，地球的重力作用吸引了我的钢笔，因此当我松开手中的钢笔时，它会向地面下落。如果我们提个问题，“钢笔为什么会下落？”通常的答案会是钢笔下落是因为受到地球的重力作用影响。

同样地，如果我们的问题是，重力是不是一个真实的力，也就是重力是否真实存在，通常的答案是，“当然，重力是真实存在的”。也就是说，人们通常用一种现实主义态度来看待重力，认为重力真实存在，而

这在很大程度上解释了我们日常生活中所观察到的大部分现象。

我怀疑我们大多数人都用现实主义态度看待重力，主要是因为从我们很小的时候就开始被灌输重力的概念，因此不容易注意到重力，或者说至少用现实主义态度来看待的重力，具有某些其实相当奇怪的特点。要理解这些奇怪的特点，我们可以把重力和在其他情况下两个物体之间的吸引力进行对比。举个例子，假设我把一根橡皮筋绑在两支钢笔上，然后把两支钢笔拉开，绑在两支钢笔上的橡皮筋就被拉长了。在这个例子里，从某种意义上说，两支钢笔彼此互相吸引。如果我松开两支钢笔，它们会迅速向彼此移动。不过，在这个例子里，吸引力的性质很容易理解，两支钢笔由一根拉长了的橡皮筋连接起来，这根拉长了的橡皮筋正是两支钢笔之间吸引力的来源。

在前面的这个例子中，也就是当两支钢笔被一根拉长的橡皮筋绑在一起时，我们很容易理解其中吸引力的性质。不过，现在，回到向地面下落的钢笔的例子，请注意钢笔和地球之间似乎不存在联系，并没有橡皮筋把地球和钢笔绑在一起，也没有细绳，什么都没有。然而，尽管如此，钢笔在被松开以后仍然向地球移动。从这个角度来看，重力听起来并不像是科学，而像是魔法。

简言之，如果用现实主义态度来看待重力，也就是，如果认为重力是一个真实存在的力，那么重力的效果听起来非常像某种神秘的超距作用。而且事实上，当牛顿初次发表《原理》时，很多批评人士攻击牛顿的切入点就是牛顿所引入的这个力需要一种神秘的超距作用。在这些批评人士中，有些人很有影响力，包括（这样的人很多，暂且举一个例子）戈特弗里德·莱布尼茨（我们在前面提到过他是微积分学的共同创立者）。莱布尼茨攻击牛顿在科学中引入了“超自然”的力，而莱布尼茨这种观点恰恰是基于重力似乎涉及某种神秘超距作用的问题。

这个问题的一个解决方案就是用工具主义态度来看待重力，而且实际上，牛顿本人通常都声称自己是用工具主义态度来看待重力的。要更好地理解这会有怎样的影响，可以再思考一下向地面下落的钢笔。牛顿的方程式，包括与重力相关的方程式，可以对钢笔将如何下落（比如，钢笔下落的加速度）做出很好的预言。采取工具主义态度，实际上就是认为这些方程式可以很好地描述物体运动模式，同时对物体为什么会有这样的运动模式保持不可知论的态度。换句话说，你可以用牛顿的方程式，特别是与重力相关的方程式，来进行很好的预言，但同时对重力是否是一个“真实”的力保持沉默。

牛顿确实始终希望对重力给出一个现实主义的描述，与他在《原理》中给出的数学计算保持一致，并且从某个意义上说，这个描述仅涉及数学计算而没有超距作用。不过，尽管在后来的两个世纪里，看待重力的方法多少有了些不同（比如，出现了一个新概念，那就是物体是在不需要超距作用的情况下对一个在局部有效的重力场做出反应的，这可以是看待重力的另一种可行选择），但仍然没有出现一种对重力完全没

有问题的解释。（至少从现实主义角度来看，这些解释都有问题。只要采取完全的工具主义态度，那么所有解释，包括牛顿的解释，都是没有问题的。）最终，爱因斯坦的广义相对论将会对重力给出一个不涉及超距作用的解释，我们在后面的章节将对此进行讨论。然而，我们也将会看到，爱因斯坦对重力的解释与我们大多数人从小到大所理解的牛顿关于重力的观点之间存在巨大差异。

| 结语 |

旧的亚里士多德世界观不能与17世纪的新发现保持一致。而它的替代者当然不是一夜之间就建立起来的，不过，最终，我们在前面所描述的新的世界观出现了，这正是我们所说的牛顿世界观。与亚里士多德世界观的情况相同，牛顿世界观也随时间推移而经历了发展，不过一个机械论的、像机器一样的宇宙一直保留了下来，并且成为这一世界观的核心观点。

科学在17世纪得到了发展，在这个过程中，特点之一就是出现了越来越多的定律，比如，开普勒的行星运动定律和牛顿的运动定律。科学定律变得越来越重要，而这也带来了一些有趣的哲学问题，比如什么是科学定律。在下一章中，我们将简要研究围绕这些定律产生的某些令人困惑的命题。然后，在22章中，我们将简要描述牛顿世界观在随后两个世纪中的发展轨迹。

第21章　哲学插曲：什么是科学定律

从17世纪开始，科学定律的概念在科学中所扮演的角色变得越来越重要。举个例子，在前面几章，我们讨论了开普勒行星运动定律、牛顿运动定律，以及牛顿对万有引力定律的描述。在下一章中，我们将简要探讨在牛顿体系得到广泛接受后的几个世纪里出现的其他定律，比如解释了电现象和磁现象之间联系的有关电引力的定律，还有其他很多定律。前面提到的这些通常都被认为是科学定律。这一类定律似乎抓住了物理现象的一些根本性因素，对这些定律的探索和提炼归纳自17世纪科学革命以来一直是科学的重要组成部分。

但是，科学定律是什么？在这简短的一章里，我的主要目的就是说明，当我们开始探讨这个问题，很快就会遇到一些让人深感困惑的命题，而这样的情形十分常见。为解决这些命题以及其他围绕在科学定律周围的命题，人们进行了很多尝试，这些尝试都带来了一系列相当复杂的主张、论据、反论据、反主张以及类似的东西，这种情形在过去40年左右的时间里尤为突出。有一点很明确，尽管很多不同观点的支持者进行了几十年的争论，其中不乏知识渊博、能言善辩之人，但是，对于“科学定律是什么”或“怎样对科学定律进行界定”的问题，仍然没有达成共识。

这个争论的细节已经超出了本章的讨论范围，不过与其他章节一样，章节注释部分中有一些额外的相关内容供希望深入钻研的人参考。但是，如果只是想大致了解这些在探讨科学定律概念时很快就会出现的令人困惑的命题，并不是特别困难。因此，本章另一个小目标就是让你对这些令人困惑的命题有一些初步体会。

| 科学定律 |

哲学家一直乐于对科学定律和自然规律进行区分，在过去50年中尤为如此。关于两者之间的区别，已经有很多文献说明，不过接下来将是对这个区别的一个简要总结。我们通常所认为的科学定律，比如开普勒行星运动定律、牛顿运动定律和万有引力定律等，通常都只是近似地描述了物体的运转模式（后面我们还将对此进行详述）。举个例子，开普勒第二定律只是描述了在一个二天体体系中，也就是如果这个体系中只存在一颗行星和太阳，那么行星将会沿怎样的轨道运行。在实际的太阳系中，所有行星都受到各种因素的影响，包括其他行星的万有引力影响，因此，开普勒第二定律只是对行星运行轨道进行了非常近似的描述。

然而，由于像开普勒第二定律这样的科学定律通常都已经非常接近物体的运转模式了，因此通常都认为“这些定律尽管只是近似的描述，但仍然从某种程度上反映了世界某些深层次的特点”，而由科学定律所反映

的世界更深层次的特点有可能就被认为是自然规律。因此，粗略地说，通常都将自然规律定义为“负责宇宙运转的宇宙基本特点”，而将科学定律看作是近似地反映了这些自然规律的定律。

接下来，我将把重点放在科学定律上，尽管总会存在其他一些命题，都与这些科学定律通常所反映的世界基本特点有关。让我们从通常认为科学定律所具有的两个特点开始。

| 与科学定律相关的特点 |

通常认为，一条科学定律反映了宇宙某个基础且无例外的方面，也就是说，科学定律反映的是事物应当具有的运转模式，而不仅仅是事物的某个偶然行为。以我们通常所说的开普勒行星运动第二定律为例。这一定律通常也被称为“等面积”定律，我们在第16章中首次对这一定律进行了讨论。可以回忆一下，简单地说，这条定律是，如果用一条直线把一颗行星和太阳连接起来，那么这条直线在相同时间内扫过的面积相等。（回去查阅一下图16-3可能会有帮助。）

正如在前面提到过的，我们通常认为这条定律反映了，或者至少部分反映了宇宙中某个基本的、无例外的规律性。值得注意的是，我说的是至少部分反映了，因为严格来说，最多只有在理想状态下，比如这颗行星不受任何其他外力影响，包括太阳系中其他天体所施加的万有引力作用的影响，这样一个定律才会完全准确。下面我们将对与理想状态相关的命题进行进一步讨论。

这里我想让你关注的关键点是，通常认为这条定律反映了（或者至少近似反映了）一个无例外的规律性，也就是说，行星总是按照这个模式来运转，而且很有可能过去也是按这个模式来运转的，而将来，只要行星继续存在，它们还将继续按照这个模式运转。因此，通常认为科学定律与我们所观察到的其他大多数规律性都有所不同。举个例子，我们本地的餐馆只要开门营业就可以提供热咖啡，这就是一个规律性。但这不是一个无例外的规律性，也就是说，我们本地的餐馆还是偶尔不能提供热咖啡的，尽管这种情况并不常见。同样，“6月的平均温度高于5月”是一个规律，但这也不是一个无例外的规律。尽管不常见，但有时5月还是会比6月热。

然而，通常认为像开普勒第二定律这样的一个表述所描述的是行星一直会遵循的运转模式，而不仅仅是行星通常如何运转，而这正是科学定律的一个特点，也就是它们反映了无例外的规律性。目前，让我们暂时记下这个观点，也就是反映无例外的规律性似乎是科学定律的一个关键特点。

通常与科学定律联系在一起的另一个关键特点是，我们认为科学定律反映了世界的客观特点。尽管我们在本书已经对客观性这个话题有所涉及，但并没有详细探讨。因此，接下来我将讨论一下这个话题。

我在这里所使用的“客观”，其关键点是某个东西是否依赖于人类。更具体地说，我们通常认为如果即使人类不存在，某个东西也可以存在，那么这个东西就是客观的，如果情况相反，那么我们通常就认为它不是客观的。我必须指出这不仅是“客观”这个词的意思，也是我在这里所要使用的这个术语的意思。

举个例子，思考一下某些特别受欢迎的甜点，比方说巧克力慕斯。根据食品历史学家的研究，巧克力慕斯似乎是于17世纪首先出现在法国，随后在世界各地都变得越来越受欢迎。巧克力慕斯毫无疑问是人类的一个发明，而且如果人类不存在，放到这个例子里，那就是如果法国人不存在，那么巧克力慕斯同样也就不会存在了。从这个意义上来说，巧克力慕斯并不是这个世界的一个客观特点（重申一下，我在这里使用的是前面提到过的“客观”这个词的意思）。

相比之下，我们通常认为木星是客观的。也就是说，我们大多数人所秉持的观点是，即使人类从来不曾存在，木星也仍然会存在。举个例子，我们有非常合理的理由认为，如果过去某些事件没有发生，比如如果在大约6500万年前没有发生陨石撞击地球的事件，恐龙也就没有因此而灭绝，那么大型哺乳动物包括人类的演化可能就不会发生。不过，想象一下，如果陨石没有撞上地球，恐龙继续像之前的1亿年里那样统治着地球，而大型哺乳动物包括人类从来都没有存在过，在这个场景里，即使没有人类，我们仍然倾向于认为木星是存在的。也就是说，与巧克力慕斯不同，我们通常认为木星不依赖于人类而存在，即木星是这个世界的一个客观特点。

顺带提一下，“木星”这个名字当然不是客观的。这个词显然是人类发明的。但是，我们通常认为这个名字所指代的物体，也就是我们称为木星的行星，即使在人类从来不曾存在过的情况下也仍然会存在。

除此之外，在前面所描述的那样一个场景里，也就是一个没有人类的场景里，我们通常认为木星仍会像现在这样围绕太阳运转。这里我们就回到了开普勒第二定律。具体来说，我们通常认为，如果人类从来没有存在过，木星仍将根据开普勒第二定律所描述的轨道运转。换句话说，我们通常认为开普勒第二定律抓住了这个世界的一个客观特点。

与“木星”这个词的情况相同，如果人类没有存在过，“开普勒第二定律”这个短语当然也不会存在。然而，正如我们通常所认为的，即使人类不存在，“木星”这个词所指代的物体也仍然存在，我们还认为即使人类不曾存在，“开普勒第二定律”这个短语所反映的规律性也仍然是宇宙的一个特点。重申一下，这就是说，我们通常认为开普勒第二定律和其他科学定律抓住了这个世界的客观特点。

如果总结一下关于科学定律的常见观点，其实还有很多内容可以探讨。然而，为了我们的讨论，让我们先把重点放在前面所分析的科学定律的两个特点上。第一个特点是，我们通常认为科学定律反映了无例外

的规律性，第二个特点是，我们通常认为科学定律反映了宇宙的客观特点。在接下来的篇幅中，让我们对这两个特点进行探讨。我们将发现自己很快就会遇到难以解决而又让人感到困惑的命题。

| 无例外的规律性 |

让我们从前面讨论过的科学定律的第一个特点开始，也就是，科学定律反映了无例外的规律性。这个看起来很简单的特点很快就遇到了很多问题，这非常出人意料。

首先，我们要看到不存在意外情况的规律性随处可见，不过其中大多数都是我们并没想作为潜在科学定律的。思考两个例子。第一，在所有曾被写出来的英文句子中，出现的所有单词数量略少于100万，因此，这是一个关于英文句子的无例外的规律性。但是，我们从来不会把“所有英文句子包含的单词数量略少于100万”当作是一个潜在的科学定律。第二个例子是，就我个人的记忆而言，我穿裤子的时候总是先穿左腿（也并没有什么很好的理由）。假设我的记忆是正确的，这也是一个无例外的规律性，不过当然我们并不会想把它当作潜在的科学定律。我们可以坐在这儿，想出上千个类似的无例外的规律性，其中大部分，我们都不会将其当作潜在的科学定律。

那么，看起来尽管反映某个无例外的规律性是成为科学定律的一个重要条件，但实际上我们并不想把如此大量的无例外的规律性都当作潜在的科学定律。这就带来了一个简单又难以回答的问题：那些是潜在科学定律的无例外的规律性与不是潜在科学定律的无例外的规律性之间有什么区别？

对于这个问题，有一个相当常见的答案，尽管这个答案本身也会带来一些难以解决的命题。这个答案所涉及的是我们通常所说的“反事实条件句”，或者也可以叫“反事实”。需要指出的是，反事实除了在这里的讨论中发挥作用，在其他讨论中，包括科学的和非科学的，也都会发挥作用。因此，我们的下一个任务将是搞清楚反事实是什么。

反事实

反事实是日常语言与思维的一个常见特点。所以，几乎可以肯定，就算你之前从来没有听说过“反事实”或者“反事实条件”这样的术语，你也一定已经非常熟悉它们所表达的核心概念。

与我们在本书中通常的做法一样，让我们首先从例子开始。想象你自己说出了下面这样的话，“要是那次考试之前学习再努力一些，我应该能考得更好”，或者“如果昨天晚上没有在外面玩到那么晚，我今天早上就不会睡过头了”，或者“要是我记得手机该充电了，手机电池就不会像现在这样完全没有电了”，或者“如果我早点到售票处，就能买到票了”，等等。

反事实条件句的例子比比皆是，通常它们被简称为“反事实”。首先，请注意，这些例子都是条件句，也就是，它们都是“如果……那么……”的句式结构。这就解释了“反事实条件句”中“条件句”的部分。

同样需要注意的是，在这些例子中，“如果”的部分所反映的都是过去没有发生而且你也知道没有发生的事情。为了准备考试，你本来应该更加努力学习，但你实际上并没有这么做。你昨天晚上本应该早点回家，但你并没有这么做，等等。在这些例子里，“如果”反映的是不正确的、与事实相反的情况。或者换句话说，这些例子中“如果”反映的是反事实，而这就是“反事实条件句”中“反事实”的来源。

反事实在日常生活和日常思维中扮演一个非常重要的语言学角色，因为它们使我们得以表达我们认为在条件发生变化时，会得到怎样的情况。如果与事实相反，也就是你更加努力学习了，那么你就能考得更好。如果与事实相反，也就是你记得给手机充电了，那么现在手机电池就不会完全没有电了，等等。这一类的表达非常常见，同样具有重要作用，因为它们使我们能够表达我们认为在与事实不同的条件下，会有怎样的情况。

就像前面所指出的，在区分我们通常认为是潜在科学定律的无例外的规律性与通常认为不能作为潜在科学定律的无例外的规律性时，反事实通常被当作是一个关键因素。下面将解释一下反事实如何在区别两种规律性时发挥作用。

再思考一下我们在前面提到过的那些例子，也就是我们不会当作是潜在科学定律的无例外的规律性，比如，所有英文句子包括的单词数量略少于100万个，或者我穿裤子时通常先穿左腿。请注意，这些规律性尽管准确描述了事物在某种条件下的情形，但是如果条件发生变化，它们就不会是真的了。举个例子，如果有一个比赛，奖品是丰厚的奖金，比赛内容是写出长度最长而又语法正确的英文句子，那么很有可能会有人造出一个英文句子，包含超过100万个单词。因此，在这样一个反事实情境中，关于英文句子的规律性就站不住脚了。同样地，如果一位电脑程序员只是为了取乐，研发了一款可以造出长英文句子的程序，那么关于英文句子的规律性可能也同样不准确了。关于我穿裤子时通常先穿左腿的习惯，情况也是如此。如果在过去某个时候，我把腿摔断了，这就很有可能改变我的行为习惯，那么关于我穿裤子时通常先穿左腿的规律性就不是一个无例外的规律性了。同样地，如果有人给我一大笔钱，让我改变行为习惯，或者有其他任何一种反事实条件，关于我穿裤子的规律性都将不再是一个无例外的规律性了。简言之，这一类规律性在条件发生变化后就可能不是真的了。

相比之下，开普勒行星运动第二定律所描述的规律性似乎不管在什么样的反事实条件下都是一个无例外的规律性。举个例子，不管木星距离太阳是近一点还是远一点，木星的质量是更大一些还是更小一些，或者木星是颗岩石星球还是气态星球，或者存在其他任何一种反事实条

件，木星都仍将按照开普勒第二定律来运转。

简言之，我们通常认为科学定律所反映的那些无例外的规律性，比如开普勒行星运动第二定律，通常从某种意义上说都不受反事实条件的影响。具体来说，这样的规律性即使在多方面条件都发生了改变的情况下，通常也仍然是真的。

通常认为，可以作为潜在科学定律的无例外的规律性与不能作为潜在科学定律的无例外的规律性之间，关键的一个区别就是前者即使面对多种反事实条件仍然可以保持为真，而后者则无法做到这一点。

利用反事实条件是否足以区分两种规律性了？很不幸，并不是这么简单。具体来说，利用反事实条件可以对这两种规律性进行区分，但同时也产生了问题严重的命题。这些命题涉及两个方面，其中一个与语境依赖性有关，另一个与通常所说的“其他条件不变句”有关。接下来，我将对这两个方面逐一简要讨论。

语境依赖性　尽管前面对反事实条件的应用，至少一开始似乎让我们在合理区分能否作为潜在科学定律的规律性方面取得了实质性进展，但是正如经常会出现的情况一样，这并没有为揭示更深层次的问题发挥多少作用。这里所说的更深层次的问题中，第一个就与反事实条件的语境依赖性有关。

前面对反事实条件的初步讨论中，我保留了反事实条件的一个重要特点，也就是，我们通常认为一个反事实条件是真还是假，在很大程度上取决于其所在语境。再思考一下前面提到过的一个例子，也就是“如果我记得手机该充电了，那么现在电池就不会完全没有电了”。在前面的讨论中，我们暗自假设了一个多少比较正常的语境，也就是你大概希望自己记得给手机充电。在这样一个语境中，我们倾向于认为这个反事实条件为真。

不过，现在请考虑另一个语境。假设你明天要参加一个重要考试，而你决定直到考试结束才给手机充电，这样你就不会把时间都浪费在打电话上。在这个语境中，这个反事实条件，也就是“如果我记得手机该充电了，那么现在电池就不会完全没有电了”，就是假的，因为在这个语境中，你大概会记得你不想给手机充电，而且会让电池继续处于没电状态。

或者，也许你跟一个朋友吵架了，希望暂时失联，因此更愿意把手机放着不充电，这样就为自己不回电话找到了一个方便的理由，或者还有无数其他可能性。简言之，有无数种语境可以使我们所讨论的这个反事实条件为真，同样也有无数种可能性使这个反事实条件为假。几乎对每一个反事实条件，情况都是如此。

总之，众所周知，一个反事实条件的真假依赖于其所处的语境。这属于一条科学定律，但是这也带来一个问题，也就是通常来说（也可能

总是如此），当某个事物的真假依赖于语境时，那就意味着其真假依赖于相关人士的知识或利益，而这反过来又表明真实或虚假都依赖于人，以及这些人的利益和知识。

到这里你可能已经看出了其中的问题。回忆一下，在这一节开头，我们讨论过典型科学定律的一个主要特点，也就是，通常认为科学定律反映了世界的客观特点，也就是不依赖于人而存在的特点。然而，现在我们似乎把自己逼进了死胡同。我们似乎需要利用反事实条件来描述什么能算是科学规律，具体来说，就是对可以作为潜在科学定律的无例外的规律性与偶然出现的无例外的规律性进行区分。然而对反事实条件的使用同时带来了语境依赖性。所以，如果对科学定律进行描述需要反事实条件，而反事实条件又是依赖于语境的，那么反事实条件是依赖于人的（或者更准确地说，反事实条件的真假是依赖于人的）。因此，反事实条件的使用破坏了科学定律的表面客观性。

其他条件不变句　认为科学定律反映了无例外的规律性，还导致了另一个基础性命题。再思考一下开普勒行星运动第二定律。如果我们更仔细地研究一下行星实际到底是如何沿轨道运动的，就会发现一些有趣的现象，也就是，严格来说，开普勒第二定律所反映的并不是有关行星轨道的无例外的规律性。

基本问题在前面已经提到过，而且很容易看出来。很多因素都可以影响行星的轨道。举个例子，行星有时会遭到小行星和彗星的撞击，这样的冲击会影响行星的轨道。最近的一次惊人撞击就发生在20世纪90年代，当时一颗巨大的彗星撞击了木星，尽管这次撞击并没有使木星进入一个全新的轨道，但毫无疑问对木星的轨道产生了巨大影响，导致木星在撞击过后的一段时间里并不是完全按照开普勒第二定律来运动。那次撞击格外惊人，不过不那么惊人的撞击随时都在发生。甚至是更近期的一段时间里，木星又再次遭到一个大型物体撞击，这次撞击在木星大气层上留下了一个地球体积那么大的扰动，同时再次改变了木星轨道。

尽管像撞击这样的例子多少有些夸张，但不那么夸张的事件随时都在发生。行星随时受到各种影响，从其他行星的万有引力到从它们旁边经过的彗星和小行星，甚至是我们偶尔发送到太空中的宇宙飞船都会产生影响。这些影响尽管不大，但却使行星从来都无法严格按照开普勒第二定律的描述来运转。

这样的事件似乎使科学定律不能再适用于其本该适用的情形，而且可能在所有涉及科学定律的情形中都会存在此类事件。或者换句话说，很有可能并没有任何一条科学定律能够被直接而严格地遵循。

为了尽量避免这一问题，通常的做法是引入通常所说的“其他条件不变句”（ceteris paribus clauses），这里拉丁文短语“ceteris paribus”的大致意思是“其他一切条件都相同”。因此，举个例子，我们可以说如果木星是一颗行星，那么在其他一切条件都相同的情况下（比如，没有小

行星和彗星撞击的冲击、没有其他行星的影响，等等），木星将遵循开普勒行星运动第二定律。

毫无悬念，这个解释也引发了新的问题，我将讨论其中两个。首先，你可能已经注意到，对其他条件不变句的讨论与前面对反事实条件的讨论之间是存在联系的。两个讨论确实相互关联。当我们认为开普勒第二定律是一个伴随着其他条件不变句的定律时，就相当于说（同样以前面提到过的木星为例），这个定律所说的就是木星在没有受到其他外力影响的情况下，就将按照开普勒第二定律描述的轨道运转。然而，我们从一开始就知道木星实际上是受到各种外力影响的。因此，前面这个描述就把自己变成了一个反事实条件，因而也具有我们在前面讨论过的反事实条件的各种问题。

除此之外，请注意，一一列举所有可能的其他条件不变句也是不可能的，因为存在太多可能性。我们在前面提到了小行星撞击、彗星撞击和从木星旁边经过的太空器的影响等。然而，毫无疑问，存在无数种与上述类似的影响，我们不可能把它们全都列举出来。我们所能做的，最多就是列出包括彗星、小行星和经过的太空器在内的影响，然后加上一句“等其他类似的影响”之类的描述。然而，相似性的概念与人类利益紧密联系。举个例子，两个事物是否相似，一个关键的判定因素是对这个相似性进行判定的人的利益。所以，我们再次遇到了与前面的讨论有关的一个问题。如果界定科学定律的特点需要使用其他条件不变句，而使用这类句子又依赖于相似性概念，相似性概念本身又取决于人类的判断，那么我们对科学定律的界定似乎又不符合“科学定律具有客观性”的概念了。

| 结语 |

作为总结，我想回到本章开头所讨论的一点，也就是，与科学定律相关的命题一直都在经历广泛探讨和争论，尤其是在过去大约40年间。这些探讨和争论包括了本章讨论过的一些命题，但并没有止步于此。

我在这一章的主要目标并不是对过去几十年间关于科学定律的所有讨论进行总结。实际上，我的主要目标是说明一旦开始探索“什么是科学定律”的问题，我们很快就会遇到很多难以解决的命题。我希望，前面提供的材料可以让你对某些难以解决的命题有了那么一点儿体会。从多个角度来看，有一个模式尽管肯定不是一个无例外的规律性，但确实反复出现，那就是，每当我们深入到一个看似相对直接明确的科学命题或概念中时，我们很快就会遇到难以解决且令人困惑的问题。

第22章　1700～1900年牛顿世界观的发展

与亚里士多德世界观一样，牛顿世界观也不是一系列静态的观点。在17世纪以后的几个世纪里，牛顿世界观得到了发展和修正，但尽管如此，这个世界观的核心元素仍然保持不变。在本章，我们的目标就是对发生在大约1700年到1900年之间的某些发展进行说明。

总的来说，我们的切入点将是试图展现牛顿世界观在这一时期的发展是多么让人欢欣鼓舞，以至于到了1900年，似乎大多数有关这个世界的主要问题都已经在牛顿科学体系中得到了解答。我们将具体探讨一下科学的几个主要分支在这一时期里的发展，最后会对某些在20世纪之初仍未解决的问题进行一下讨论。

｜对科学主要分支发展的评述，1700～1900年｜

我们的第一个任务将是对科学的某些主要分支进行简要评述，比如化学和生物学，并探讨这些科学主要分支在1700～1900年之间是如何发展的。这些评述将有助于说明科学的不同分支是如何“牛顿化的”，也就是，它们在范围广阔的牛顿科学体系中是如何发展的。我们将从现代化学的发展开始。

化学

现代化学的起源通常追溯到18世纪晚期，以安东尼·拉瓦锡（1743—1794）的研究为标志。要理解为什么这是现代化学的起源，首先了解一下17世纪以前的化学研究将很有帮助。

今天，当我们谈到化学时，通常所想到的，很大程度上说是一个以定量研究为主的学科。如果你在高中或大学上过包括实验的化学课，那么你无疑对化学的定量研究有过一些体会。今天的实验室工作通常都涉及对重量、体积、温度等因素的精确测量。简言之，今天的化学基本上是一门定量学科。

而在17世纪以前，情况并非如此。相比之下，当时的化学更多地被认为是一门定性科学。也就是说，化学家所关心的主要是定性的变化，比如颜色的变化。炼金师将铅变成黄金的目标众所周知，可以作为范例来说明这一点。定性地说，铅和黄金相当相似。两者都是密度很高、具有高度延展性的金属。事实上，铅和黄金主要质的区别在于颜色，铅是暗灰色，而黄金是闪亮的淡黄色。

如果你可以让铅发生一个相对较小的质变，具体来说，就是将黄金的淡黄色性质引入铅中，那么所得结果应该就是黄金（至少按照当时已有的观点是如此）。由于有合理的理由认为与燃烧有关的元素都和淡黄色性质有关联（比如，火本身就是淡黄色的），因此出现了用火把黄色

性质传递给铅的想法。

以上是对炼金师所进行的部分活动的简化描述，不过，请注意其中对定性的强调。顺带提一下，炼金师的方法从化学的角度看来可能相当原始，至少按照现代标准是如此。但是，如果考虑到化学在当时的发展情况，他们的工作就合理了（牛顿也是炼金术的研究人员之一，他在这一领域做了相当多的研究）。我们现在最前沿的科学如果放到500年以后，按照那时的标准，可能看起来也很原始。也就是，你只能利用自己所处时代的全部知识来尽自己之所能。

不管怎样，化学的定性研究方法在18世纪晚期发生了巨大变化。安东尼·拉瓦锡开始以天平作为主要实验工具来进行大量化学研究。通过这种做法，拉瓦锡提出了新的观点，这些观点的解释和预言能力要优于当时现有理论，很快，他的定量研究方法就开始成为化学研究的主流。

到了19世纪早期，化学家已经可以明确阐述许多定量规律。举个例子，此时，约翰·道尔顿（1766—1844）构建了他的原子理论，这是一个基本都在牛顿科学体系内的理论。道尔顿认为理解气体运动模式最好的方法是把它们看作是粒子因互斥力而相互作用的结果。请注意这种研究方法与牛顿研究方法之间的相似之处。比如，牛顿认为行星的运动是天体受外力影响的结果。类似地，道尔顿认为气体的运动从根本上说，所涉及的就是物体和作用于物体上的力。

这些相互作用可以用（过去确实也是用）定量的规律来描述，最终，这些规律都通过数学表达出来。在这里，我们看到化学被纳入了特色鲜明的牛顿科学方法，也就是把物体受外力影响的思路运用到化学中，并且用数学对其中的外力进行了描述。最终，在整个19世纪以及20世纪初，通过运用牛顿方法，化学研究取得了卓著成果，化学的某些分支甚至逐渐变成了物理学的分支，从而使物理学和化学不再是两个完全分离的学科，而是在不同层级来研究这个世界的方法。不管是化学还是物理学，它们所研究的世界基本上都被构建为一个可用牛顿科学体系来探究的世界，也就是在这个世界中，物体都受到外力影响，而这些外力都可以通过数学法则来精确描述。

生物学

在这段时期，生物学同样转变成了现代生物学。生物学是一门范围颇广的学科，值得注意的是，生物学中很多非常重要的著作都完成于16世纪和17世纪。但是，直到18世纪和19世纪，“生物现象并没有脱离牛顿宇宙观”的认识才变得清晰起来。

要简明地说明这一点，可以简要探讨一下生物活力论者与生物机械论者所争论的命题。活力论者的观点是，有生命的物质和无生命的物质是不同的，因此适用于无生命物体的规律（比如牛顿定律）并不一定也适用于有生命的物体。凭直觉来看，活力论者的观点很容易理解。比

如，看看你的胳膊，然后把你的胳膊跟一块石头来对比一下。表面上看起来，两者似乎全然不同。总的来说，有生命的物体看起来跟无生命的物体非常不同，所以，用来解释无生命物体的规律是否同样可以解释生命，这一点还远不明确。

然而，从18世纪开始，一直延续到19世纪和20世纪，生物学领域内的研究都清楚地表明，活力论者的观点是错误的。这些研究涉及许多领域，有许多研究人员参与其中。接下来，我们将只选取其中两个领域进行探讨，但这已足以让你很好地体会一下，究竟是什么样的研究结果可以让人们意识到生物现象与生物学以外的现象都是同类型的。

首先，让我们思考一下有关神经结构和功能的某些发现。对神经的研究，包括对神经纤维的解剖研究，以及对运动神经元和感觉神经元之间区别的认识，可以至少追溯到公元前500年。神经纤维长期以来一直被认为是维持生命所需的液体或生命力的通路或管道，而关于神经纤维的这种观点可以与活力论者的主张拼合到一起。在18世纪晚期，路易吉·伽伐尼（1737—1798）进行了一系列实验，实验结果表明电流会使青蛙腿部肌肉收缩。不久以后，亚历山德罗·伏特（1745—1827）延续了伽伐尼的研究工作，并有所扩展。随着伽伐尼和伏特（还有其他许多人）研究的深入，“神经传导是一种电学现象”的观点很快就建立起来了，这与过去关于“神经是维持生命所需的液体或生命力的通路或管道”的观点相比相当不同。

随着相关研究在19世纪不断深入，与神经相关联的电学活动的物理、化学基础都将得到很好的理解。我们讨论中的关键点是，这些现象最初被认为是纯粹的生物现象，而且可以与活力论者观点拼合在一起，但此时已开始被认为是一种电学现象，而且引起这种现象的物理、化学过程与生物学之外的物理、化学过程都是相同种类的。事实上，人们普遍认为生物学的这个领域可以与牛顿世界观对物理、化学过程的机械论理解拼合在一起。

第二个简要例子是早期有机化学。在19世纪初期以前，标准观点是通常所说的“有机”化合物只能由活的有机体产生。除此之外，有机化学最初被认为与活力论紧密相连，因为通常认为产生有机化合物需要维持生命所必需的液体或生命力。在一段时间内，这个观点似乎很有道理，事实上，没有人曾经利用活的有机体之外的物质成功产出有机化合物，这在很大程度上也支持了这个观点。

然而，1828年，弗里德里希·维勒（1800—1882）成功用一种非有机化合物合成了尿素，也就是一种很明确的有机化合物。不久之后，化学家们就具备了用非有机化合物合成其他有机化合物的能力，所能合成的有机物也变得越来越复杂了。到了19世纪50年代中期，这项技艺成了日常工作，也严重动摇了活力论者关于“有生命和无生命物体之间存在显著差异”的观点。

最后一个例子涉及演化论研究，主要在19世纪早期到中期开展。最终结果是广义的生命，比如物种的多样性，开始被视为依据自然法则展开的自然过程所产生的结果。这一点在本书第三部分中将会继续详细讨论，因此，在这里，我们的讨论将就此告一段落。

以上是对这些发展的一个简要概括，但已可以说明在1700～1900年间，生物学领域内出现的主要发展。重点是，这些例子说明了人们是如何逐渐认识到生物现象与非生物现象实际上并无差异的。尽管甚至到了20世纪初期，仍然有一小部分人坚持为活力论辩护，但此时，已经很明显的是，机械论观点才是正确的。20世纪的发现（比如在遗传学领域的发现），使这一点成为定论，并让人们很好地理解了生命活动是如何从分子层面产生出来的。总的来说，到20世纪初，生物、化学和物理出现了融合，并开始被视为是在不同层面对同一个处于牛顿科学体系内的世界所进行的研究。

电磁理论

最后再举一个例子，这个例子将足以说明多种现象是如何融入牛顿科学体系的。对与电和磁相关现象的研究，至少从古希腊时期就已经出现了。然而，我们对这些现象的理解最为引人注目的进展则是出现在18和19世纪。

在18世纪中期，本杰明·富兰克林（1706—1790）证明了闪电是一种电学现象，同时还证明了电学现象和磁现象之间存在一系列有趣的联系。然后，在18世纪晚期和19世纪初期，研究人员，包括查尔斯·库仑（1736—1806）和迈克尔·法拉第（1791—1867），当然还有其他很多人，让我们对电和磁的认识发生了重要飞跃。举个例子，库伦发现磁和电的斥力和引力遵循平方反比的规律，也就是说两个物体之间的电引力/斥力或磁引力/斥力与两个物体之间距离的平方成反比。

值得注意的是，库伦定律平方反比的性质与牛顿重力概念的平方反比性质相当类似。回忆一下，根据牛顿对重力的描述，两个物体之间重力吸引作用的大小与两个物体间距离的平方成反比。库伦定律也是如此，因此，库伦定律与牛顿世界观的本质精神非常一致。更概括地说，请注意此时研究电磁现象的方法出现了变化。在人类大多数历史中，至少追溯到古希腊时期，对电磁现象都是进行定性描述。然而，此时这些现象开始被认为是遵循精确的数学规律，从本质上说与牛顿世界观的方法是一致的。

在19世纪上半叶，法拉第发现了电现象和磁现象之间更多的联系。到目前为止，从实际生活的角度来看，法拉第最有影响力的发现是磁场可以通过感应产生电流。这个原理至今仍然是发电的基本原理，也就是说，在我们每天使用的电力中，实际上有很大一部分都来源于法拉第的发现。

尽管这可能是法拉第对实际生活最有影响力的发现，但是从理论角度来看，法拉第最具影响力的观点是“电力、磁力和光可能是同一个根本源头的不同侧面”（尽管这个观点其实也很快就广泛应用于实际生活了）。法拉第的这个观点，也就是电力、磁力和光从某个意义上来说是同一个根本现象的不同方面，很快得到了发展，成了由詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（1831—1879）在19世纪中期提出的电磁理论。法拉第的发现主要是定性描述，但是麦克斯韦则发现了光、电力和磁力现象背后的基本数学方程式。这些方程式通常被称为“麦克斯韦方程式”，它们将光、电力和磁力现象统一了起来，被广泛认为是这一时期最重要的发现。

再强调一下，以上对有关电力、磁力和光的部分关键研究发展的概述是非常简短且有所选择的。但是，请再次注意一下其中大致相同的模式：在这段时期，这些领域都出现了超乎寻常的发展，许多现象过去都曾经被认为是独特的，而且要用定性的方法进行研究，此时却逐渐统一了起来，而且都可以用牛顿科学体系中的基础数学定量方法来进行研究。

概括评述

尽管我们只是具体研究了三个科学领域，但也应该已经足以让我们体会到在1700～1900年间，科学的诸多领域是如何被纳入牛顿科学体系中的。值得注意的是，这一时期长达200年，其间许多不同的科学领域都出现了令人印象深刻的成果和发现。总的来说，到了1900年，科学的多个分支都在快速发展。牛顿科学体系内具有普遍性的方法被证明极为富有成效。到了大约1900年，有一种感觉是我们已经几乎完全了解了自然，只剩下几个相当无足轻重的问题还有待解决。接下来，让我们对其中几个问题进行一下探讨。

| 几块小乌云 |

英国著名物理学家之一开尔文爵士在1900年发表了一段经常被引用的谈话，在谈话中他指出，在现代科学本应晴朗的天空里，现在只有几块“小乌云”了。开尔文所指的“小乌云”中，有两块比较重要，分别是迈克尔逊-莫雷实验结果和对黑体辐射理解上的某些问题。下面我们将对这两个问题分别进行讨论，同时还会对在1900年左右时仍有问题的某些其他领域进行简要探讨。

事实上，对迈克尔逊-莫雷实验结果的理解有赖于爱因斯坦相对论的确立，而对与黑体辐射相关命题的理解，以及对下面要讨论的其他命题的理解，都有赖于量子理论的创立。这些理论是现代物理学最重要的两个分支，两者都对牛顿科学和牛顿世界观的某些方面产生了举足轻重的影响。考虑到以上几点，开尔文所说的小乌云实际上一点都不小。在本章剩余的篇幅中，我们将简要了解迈克尔逊-莫雷实验、与黑体辐射相关的命题，以及其他看起来无足轻重的命题。在后续的章节中，我们将探

讨相对论和量子理论，以及这些理论对牛顿世界观的影响。

迈克尔逊-莫雷实验

迈克尔逊-莫雷实验涉及光速和光传播的方式。阿尔伯特·迈克尔逊（1852—1931）和爱德华·莫雷（1838—1923）进行了大量有关这些命题的实验，最重要的几个发生于19世纪80年代末期。一些背景信息将有所帮助。

思考一下水波的运动。波是介质之间机械干涉的结果，而正是通过这种介质，波才得以运动，这种介质就是水。当然，在没有基础介质也就是没有水的情况下，就不可能有水波的运动。

声波与此相似。声波也是介质之间机械干涉的结果，也是通过介质才可以传播。空气是典型的介质，尽管声波也可以通过其他多种介质进行传播。同样地，基础介质对声波传播也是必需的，没有基础介质，也就没有波。

总的来说，为了与整体牛顿科学体系保持一致，任何波的运动都被认为是需要某种基础介质的机械干涉。由于我们有很好的理由来认为光是波，所以，在牛顿科学体系内，光的传播就需要依赖于某种基础介质。下面这段话摘自德沙内尔所著的《自然哲学》，对光的传播进行了精准总结。这本书在19世纪80年代末期是物理学的标准教科书。（在“科学”这个单词成为标准之前，“自然哲学”就用来指代我们所说的科学。顺带提一下，德沙内尔的书出版于迈克尔逊-莫雷实验之前，后来，这个实验给书中牛顿科学体系内关于光传播的观点带来了大量问题。）

跟声音一样，光被认为是来源于震动的；但是，跟声音一样，它也不需要空气或其他有形物质的存在来使其震动从源头传播到周边。……似乎需要假设存在一种远比普通物质更为稀薄的介质……【这种介质】可以用远远超过声速的速度来传播震动。……这种假设存在的介质被称为“以太”。（德沙内尔，1885，p.947）

“以太”（ether）这个名字源于过去的“以太”概念，也就是在亚里士多德世界观里被认为可以在月上区域中找到的元素以太。然而，除了名字，亚里士多德世界观里的以太和被当作是光传播所需基础介质的以太并没有什么相似点。

请注意，这个关于光传播的观点是如何与牛顿科学体系内机械论的宇宙拼合在一起的。与声波和水波等现象一样，光传播被认为需要某个基础介质的机械干涉。迈克尔逊-莫雷实验的目的是找出更多直接证据来证明以太的存在。实验的核心设想是，从一个点发射出两道光，夹角为90度，随后（通过镜子反射）使两道光从两个方向反射回来。如果光通过以太这样的介质来传播，那么由于地球很有可能像船在水面上划过那

样在介质以太中运动，预计将看到的两道光反射回来时有微小的时间差。举个与这个实验核心想法相似的例子，假设让两个人从运动着的船上出发去游泳。思考一下图22-1所展示的关于船和游泳者的类比。假设三条船都以同样的速度在水中运动，船B1与船B3之间的距离和船B2与船B3之间的距离相等。其中一人（也就是图中的S1）的任务是游到位于图示上方的船B1，然后回到他最初出发的船上（也就是B3）。由于船在水中运动，因此这个人需要以一定的角度游向船B1，然后同样以一定的角度游回船B3。另一个人（图中的S2）的任务是追上位于他出发的船B3前面的船B2，然后回到船B3。

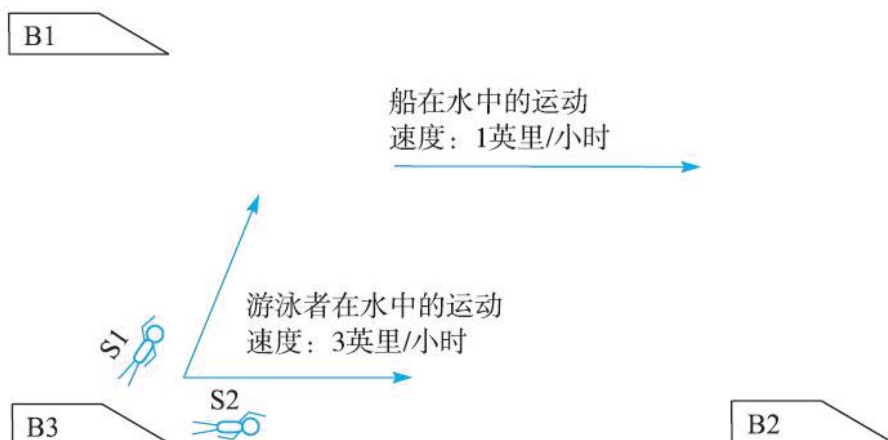


图22-1　船和游泳者的类比

相对于最初的船B3，两个人往返的距离相等。但是，请注意，相对于两个人所游过的介质（也就是水），两人游过的距离就不相等了。具体来说，相对于水，S1游过的距离比S2稍微短一些。（如果你感兴趣，可以运用勾股定理和一些代数算法算出每个人所游的确切距离。）由于相对于他们运动所在的介质，两个人游过的距离不同，因此他们将在不同时间点回到最初的船上，如图22-2所示。

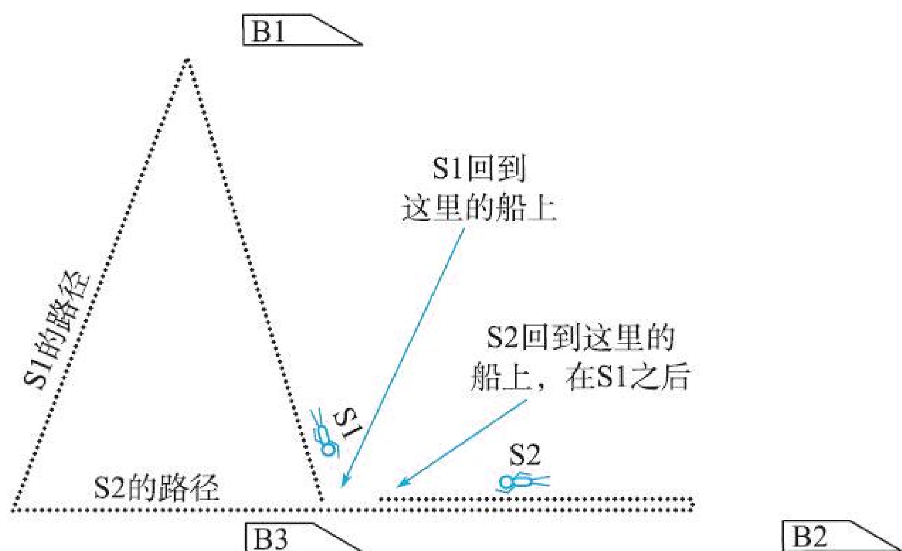


图22-2　在不同时间点返回的人

迈克尔逊-莫雷实验的核心想法完全可以与这个船和游泳者的例子进行类比。在实验中，迈克尔逊和莫雷从一个定点发射出两道光，这个定点就相当于类比中两个人出发的船B3。两道光发出时夹角为直角，而这两道光就相当于类比中的两个人S1和S2。两道光分别通过与光源距离相等的两面镜子反射回来，这两面镜子就相当于船B1和船B2。

如果牛顿科学体系内关于光传播的机械论观点是正确的，也就是光通过介质以太来传播，那么光源和镜子应该在以太中运动。这是因为光源和镜子本身在地球上，而地球在围绕太阳运转的时候就将在以太中运动。那么，以太就相当于船与游泳者类比中的水。尽管相对于光源，两道光传播的距离相等，但是由于光源和镜子同时在以太中运动，那么对于以太，两道光传播的距离将是不相等的（造成这种情况的确切原因，与两个人相对于其所在介质游过的距离不同是一样的）。因此，我们预计可以看到两道光回到光源处时有微小的时间差。

然而，与大家所预期的相反，两道光总是在相同时间点回到光源处。这个结果非常出人意料，在这种情况下，应该反复进行这个实验，不断验证。事实也正是如此。但是每次实验结果都相同，也就是两道光总是同时回到光源处。

请注意，这一点符合第4章讨论过的不证实推理模式：如果牛顿科学体系内关于光传播的机械论描述是正确的，那么光应该在不同的时间点回到光源处。然而，它们并非如此，所以，一定是哪里有问题。

由于牛顿科学体系非常成功，因此科学家如果因为这个实验结果而放弃牛顿科学体系内的观点，将是非常不明智的。但是，一定有哪里不太对，正如开尔文爵士提到过的，迈克尔逊-莫雷实验的结果似乎是本应

晴朗的天空中为数不多的几块乌云之一。后来证明，这些有关光的命题根本不是小问题，事实上，到了爱因斯坦相对论问世，这些问题才最终得以解决。后面我们将看到，相对论本身对我们通常关于宇宙的观点将会有某些有趣的影响。我们将会在下一章对此进行研究，在那之前，我们先简要讨论一下其他几块看起来无足轻重的小乌云。

黑体辐射

在不讨论具体细节的情况下，让我来粗略介绍一下黑体辐射有关的问题。“黑体”是物理学里的一个技术术语，指的是一个理想化的物体，可以吸收所有指向它的电磁辐射。举个例子，光是电磁辐射的一种形式，所以，如果我们向一个黑体投射光线，黑体将吸收所有光线，因而表现出黑暗的性质（因此才被称为“黑体”）。在日常生活中，我们不会遇到这样理想化的物体，但是我们确实会对某些黑体有所体会，尽管它们与物理学中理想化的黑体有些不同，但会有助于解释某些问题。

举个例子，思考一下电炉上的黑色线圈炉头。这样的一个物体吸收了大部分投向它的光线，因此，它看起来（大多数情况下）是黑色的。除此之外，加热的时候，这个物体将会对外进行辐射。比如，电炉上的线圈炉头可以同时以热和光的形式对外进行辐射（举个例子，当足够热时，炉头会发出红光）。当然，我们可以测量线圈对外进行辐射的模式。

一个理想化的黑体在受热时应该对外进行辐射。根据牛顿科学体系，也就是在18世纪和19世纪间牛顿世界观的发展，一个受热的黑体预计将以某种特定模式对外进行辐射。事实上，关于受热黑体对外进行辐射的模式，存在已经明确且与牛顿世界观定量计算传统保持一致的方程式，应可以进行相当准确的预言。到了19世纪末期和20世纪初期，物理学家已经构建出能够对外进行辐射的设备，其对外辐射的模式应该与受热黑体对外进行辐射的模式相同。然而，实际观察到的辐射模式与根据牛顿科学体系预言的辐射模式却有显著差异。简单来说，情形是这样的：当仅观察波长较长的辐射时，所观察到的辐射模式与预言的模式十分相近。但是，到了短波时，观察到的辐射模式则与预言模式大相径庭。（顺带提一下，这些有问题的短波位于电磁波谱的紫外线一端，因此这个问题有时被称为“紫外灾难”。）

这个情形与迈克尔逊-莫雷实验的情形有些类似，同样也是一个不证实证据的例子：根据当时存在的有关辐射的观点（也就是符合牛顿科学体系的观点），人们预期看到某些实验结果。但是，在黑体辐射上，那些预期可以看到的结果实际上都没有出现。所以，在这里，与迈克尔逊-莫雷实验的情形一样，牛顿科学体系似乎哪里有些不对。

同样，人们当然不会因为少数几个问题就轻易放弃一个本来很成功的理论，更不要说是一个已经非常成功的牛顿科学体系。尽管如此，黑体辐射问题确实似乎是另一小块小乌云。

最终，量子理论的出现才解释了黑体辐射。我们在后续章节中将会看到，量子理论对我们有关这个世界的许多假设都产生了非常深远的影响，具体来说，它对牛顿世界观的多个重要内容都产生了巨大影响。所以，与迈克尔逊-莫雷实验的情形一样，黑体辐射的问题后来被证明并不只是一小块乌云。

其他问题

尽管迈克尔逊-莫雷实验结果和黑体辐射问题是开尔文爵士所谈到的小乌云中最为突出的两个，但在20世纪开始的时候，仍然有其他几个令人困惑的命题。在结束本章之前，我将对其中几个命题依次进行简要探讨。

在20世纪开始的时候，物理学家意识到某些元素受热后发出的光都有出人意料的模式。举个例子，假设我们加热一块钠样本。我们会注意到样本发出淡黄色光线（餐桌上的食盐包含钠元素，你只要加热一小撮盐，就会对这个效果有所体会了）。这个现象本身并没有问题，某些物质受热后会散发出特有光线是人们早已知道的事实。在20世纪早期，令人惊讶的是物理学家发现某些元素比如钠受热后发出的光，其中仅有某些特定波长的光线。（后来证明，每个元素发出的光的波长模式都是这个元素所特有的，而在确定未知元素的组成时，这个特点被证明有十分重要的作用。）受热元素所发出光线具有特定波长模式，以及这些光仅由特定波长的光线组成，都是令人惊讶的事实。根据牛顿科学体系的观点，元素发出的光应该是由大量连续波长的光线组成，而不是仅由几种离散波长的光线组成。

因此，我们又遇到了一个关于牛顿科学体系的不证实证据，尽管在当时，这看起来同样是相对不重要的问题，然而，这个问题后来也被证明只能靠量子理论来解决。

同样是在这一时期，也就是19世纪末期和20世纪初期，一系列研究的结果都无法直接与当时已有理论相符合。这些结果并不一定是已有理论所直接面临的问题，但是当时也没有一个完整体系来容纳这些研究结果。接下来的几个例子可以说明这一类命题。

在这一时期，很多物理学家，包括很多著名的物理学家，都在对现在通常所说的“阴极射线”进行研究。现在，我们知道阴极射线实际上是一个电子束，但在那时，这些研究人员的实验结果通常都不一致，而且正如在前面提到过的，当时不存在一个完整体系来容纳这些实验结果。因此，同样地，尽管这些结果并没有直接与当时通常的观点相矛盾，但它们多少令人感到困惑。

大约在同一时期，现在所说的X射线被发现了。现在人们认为X射线是一种电磁辐射，与可见光相似，但波长更短。与阴极射线相同，关于X射线的许多早期研究结果都让人很困惑。简单举一个例子，有些实验

表明X射线应该是粒子，但另一些实验则同样有力地表明X射线不可能是粒子，而应该是波。所以，在那个时候，尽管X射线的许多性质都被发现了，但对X射线是什么仍没有很好的理解，像阴极射线一样，这些实验结果都无法被纳入一个完整的体系中。

再举一个例子，放射性也是在这一时期被发现的，相关研究中包括玛丽·居里（1867—1935）和皮埃尔·居里（1859—1906）的研究和重要发现。（玛丽·居里是第一位获得诺贝尔科学领域奖项的女性，同时也是第一位两次获得诺贝尔奖的人。）同样，放射性元素的性质也被证明令人困惑。与前面提到的例子一样，尽管放射性没有与已广为接受的牛顿科学体系的观点产生直接矛盾，但是与放射性相关的发现不能被简单地纳入牛顿科学体系内。

前面讨论的几个命题，既没有涵盖20世纪初期物理学全部的活跃研究领域，也不是对研究结果仍存在困惑的领域的完整描述。但是，这些例子应该已经足够让我们体会到那些“尽管并没有与通常的牛顿科学体系观点发生直接冲突，但也无法轻易与这些观点拼合在一起”的结果究竟是怎样的。

| 结语 |

1700～1900年间，出现了大量科学研究成果，它们都融入了17世纪的科学家们所提出的架构体系，其中最值得注意的就是牛顿提出的科学体系。新研究成果的融入，使这些架构体系看起来前景无限。所有内容似乎都完美地拼合在一起，结果就是得到了牛顿体系的宇宙观，它看起来几乎可以解释一切，或至少人们希望如此。

在结语之前的小节里，我们讨论了19世纪末两个最突出的问题，也就是迈克尔逊-莫雷实验问题和黑体辐射问题。我们随后又简要讨论了在这一时期其他几个同样令人困惑的研究结果。当时，人们都期望在通常的牛顿科学体系内解决迈克尔逊-莫雷实验结果和黑体辐射问题。而对前一个小节结尾部分讨论的那些令人困惑的其他研究结果，情况也是如此。

然而，后来事实证明，这些结果对牛顿世界观来说并不只是无足轻重的小问题。在剩下的几章中，我们将探讨新近的一些发展，大部分都出现在20世纪以后。相对论和量子理论是其中两个主要发展，它们最终对迈克尔逊-莫雷实验和黑体辐射的有趣结果进行了解释。另一个新近主要发展是演化论，我们在本书的下一部分也会对这个理论进行探讨。我们将看到，所有这些新近发展都对我们的观点，至少是对我们自牛顿时代开启以来所秉持的观点，产生了重要影响。

第三部分　科学及世界观的新近发展

在第三部分中，我们将研究爱因斯坦相对论、量子理论和演化论。我们将看到，所有这些理论都需要我们的世界观进行重大改变。在第二部分中我们已经看到了，17世纪的新科学发展要求人们的世界观发生变化，现在我们看到一些新近科学发展也要求我们自己的世界观发生变化。与17世纪发生的情况一样，我们看到某些我们一直认为显而易见的经验事实，在运用了新近科学发展的视角后，都被证明是错误的哲学性/概念性事实。

第23章　狭义相对论

在前一章中我们看到，自牛顿发表《自然哲学的数学原理》起的两百年间牛顿世界观是如何蓬勃发展的，还看到了到1900年，只有少数几个看起来微不足道的问题无法与牛顿世界观很好地契合在一起。其中一个问题，也就是迈克尔逊-莫雷实验的结果，到了20世纪初相对论问世后才得以解决。我们在这一章的主要目标就是理解狭义相对论的主要内容。在下一章中，我们将会探讨广义相对论。

阿尔伯特·爱因斯坦（1879—1955）于1905年发表了狭义相对论，正如这个名字所体现的，这个理论并不是广泛适用于所有场合的，而是仅仅适用于某些特定情况。1916年，爱因斯坦发表了广义相对论，同样如其名称所体现的，这个理论可以广泛适用于各种情况，并不局限于（更为简单的）狭义相对论所要求的情况。

在本书前面的部分中，我们曾花了一些时间探讨亚里士多德世界观中错误的哲学性/概念性事实，特别是正圆事实和匀速运动事实。在本章中，我们将首次研究一下我们自己的某些观点，因为我们一直认为这些观点是显而易见的经验事实，但是根据相对论，它们实际上是错误的哲学性/概念性事实。我们首先将简短讨论下述两个观点。

| 绝对空间和绝对时间 |

我们接下来要讨论的两个主要哲学性/概念性事实通常被称为绝对空间 和绝对时间 。这些关于空间和时间的观点都是基本常识，大多数人都把它们当作是关于空间和时间显而易见的经验事实。我们将从一个例子开始，来说明与绝对空间相关的某些命题。

假设我们面前有一张桌子，上面有一个中等大小的物体，暂且假设这个物体是一根金属棒。假设我们拿出一根非常可靠的尺子，把它放在金属棒旁边，发现金属棒正好一米长。“金属棒长度为一米”这个事实是我们可以拿出的一个明确的经验事实。我们有直接明确的经验性证据来证明金属棒的长度确实是一米。很好，到目前为止，一切都很顺利。

现在，假设我们得到了一根基本相同的金属棒。我们把这根金属棒放在第一根金属棒旁边，确定这两根金属棒长度相同，也就是一米。现在，假设我往第二根金属棒上系了一根绳子，然后开始在头顶上方快速转动连着金属棒的绳子。那么，现在的情景就是，我在这里，手里攥着连着金属棒的绳子，并在头顶上方以最快的速度转动绳子和金属棒。假设这时我问你，在我转动金属棒的时候，金属棒的长度是多少？

我猜你会凭直觉说金属棒的长度和原来一样，也就是一米。这种反应非常合理，但是请注意，这个观点，也就是“转动着的金属棒长度与放在桌子上时相同，都是一米”，并不是一个直接明确的经验事实。请注

意，当金属棒在你头顶上转动的时候，你绝对没有办法直接测量金属棒的长度。所以，不管你关于“金属棒长度为一米”的观点从何而来，它都不可能是基于直接的经验证据。

我猜你认为运动中的金属棒长度仍然是一米，主要基于以下两点：①你在此之前刚从直接的经验证据得来了观点，也就是金属棒长度为一米；②你秉持绝对空间的观点，也就是认为空间并不会因为运动而缩小或扩大（因此，像金属棒这样的刚性物体，其两端之间的距离并不会只是因为这个物体刚好在运动就缩短或加长）。

观点②，也就是距离不因为运动而改变，正是绝对空间概念的一种表述。这个概念的关键点是空间就是空间，也就是，不管你从哪个角度看——是坐在书桌上，还是在太空中围绕地球高速运动，一米就是一米。当我谈到绝对空间时，我脑中出现的就是这个概念，也就是空间不会仅仅因为运动就发生变化，就像前面例子里提到的金属棒两端之间的距离。（值得一提的是，绝对空间和绝对时间有时被用于多少有些不同的语境，也就是用来代表通常被称为空间和时间的实体论主义观点和关系论主义观点。在本章正文中，我不会讨论实体论主义支持者和关系论主义支持者之间的争论，但是在本书结尾的章节注释中，可以找到我对两者之间区别的简短讨论。）

下面我们将会看到，相对论对这个关于空间的常识性观点提出了挑战。不过，在讨论相对论前，我们首先研究一下绝对时间。同样地，我们将从一个例子开始。

假设我们知道约翰和乔伊是一对同卵双胞胎，他们俩同一时刻出生。双胞胎在同一时刻出生是非常困难的（但并不是不可能的，比如通过剖腹产手术），不过现在让我们暂时忽略这个难度，并认为他们两位在同一时刻出生。同时，假设你从来没有见过乔伊。现在，假设我告诉你约翰和乔伊就是健康的普通人，而且约翰今年20岁。接下来，我问你，已知约翰和乔伊是双胞胎，约翰今年20岁，请问乔伊今年多大了？

我猜你会凭直觉说乔伊今年也是20岁。这同样非常合理，但是同样要注意你的观点不可能是完全以直接的经验证据为基础的。毕竟，你从来没有见过乔伊，所以关于乔伊，你几乎没有直接的、由观察得来的证据。我猜你认为乔伊今年20岁，主要是基于以下两点：①你相信约翰和乔伊是双胞胎，且约翰今年20岁；②你秉持绝对时间的观点，也就是说，不管在哪里、对谁来说，时间的流逝都是相等的（所以，当时间对约翰来说过去了20年，对乔伊来说一定也过去了20年）。

观点②，也就是不管在哪里、对谁来说，时间的流逝都是相等的，是对绝对时间概念的一种表述。这个概念的关键点是时间就是时间，也就是对任何人、在任何地点，时间的流逝都是绝对的、相等的。

与绝对空间概念所面临的情况相同，绝对时间概念也因为相对论的

出现而遭遇挑战。了解了这些背景知识，现在我们将开始探讨狭义相对论，然后会回过头来明确一下相对论对我们关于空间和时间的概念产生了怎样的影响。

| 狭义相对论概述 |

狭义相对论的某些方面确实有些特别，但理论本身并不是特别艰深。相比之下，广义相对论更加难以理解。在本章中，除非特别指明，否则当谈到相对论时，所指的都是狭义相对论。然后，正如在前面提到过的，我们将在下一章探讨广义相对论。

通常情况下，用示意图解释会很有帮助，因此让我们也从示意图开始。假设乔伊在地面上，（从乔伊的角度来看）萨拉在头顶上方飞过。当有高速运动牵涉其中时，相对性的影响是最显著的，所以，让我们假设这个情境中的运动速度很高，比方说180000千米/秒（这个速度已经远远超出人类以现有科技所能达到的最大速度）。要说明空间和时间会有什么变化，一个将会非常有帮助的做法就是为萨拉和乔伊分别设置几个相隔一定距离的时钟。具体来说，假设我们为萨拉设置了两个时钟，分别称为SC1和SC2（分别代表“萨拉时钟1”和“萨拉时钟2”）。假设萨拉测量了这两块时钟之间的距离，结果为50千米，我们将把这个结果写成“50（s）”千米，其中s表示这是萨拉测量得出的结果。我们同时假设乔伊也有两块时钟，分别为JC1和JC2（分别代表“乔伊时钟1”和“乔伊时钟2”），乔伊测量得出两块时钟之间的距离是1000千米。图23-1展示的就是我们所假设的情境。

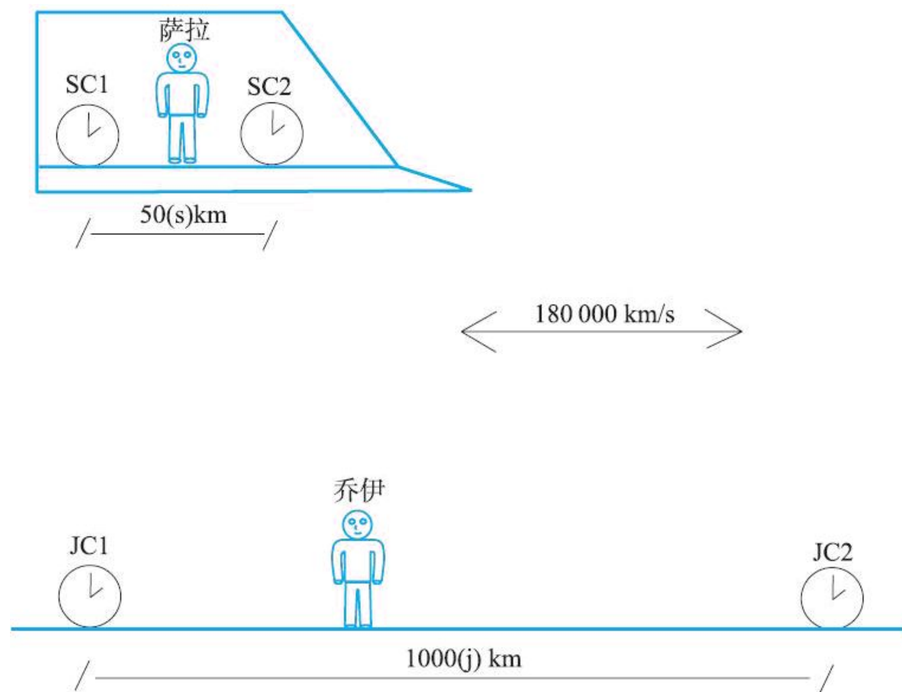


图23-1　狭义相对论示意图

稍后我们将用这个示意图来探讨狭义相对论的影响。不过，首先，这个示意图将帮助我们理解能够产生这些影响的两个基本原则。第一个是光速恒定原则。

光速恒定原则：在真空中，光速的测量值总是相同的。

举个例子，如果乔伊和萨拉在一个真空环境中分别测量光速，他们会得到相同的结果。真空中的光速接近3.0×10^8米/秒，或300000千米/秒。顺带提一句，光速通常用字母c来表示。所以，如果萨拉和乔伊测量c，也就是光速，他们所得的结果都将是光的运动速度是300000千米/秒。

值得注意的是，如果光速恒定原则是正确的，那么光的运动模式跟一般物体就非常不同。举个例子，假设萨拉和乔伊要测量一个棒球的运动速度，而不是光速。假设萨拉把棒球向前扔出去，也就是在图23-1中，萨拉把棒球沿图的右侧方向水平扔出去。假设从萨拉的角度看，球出手时的速度是100千米/秒。在这个例子里，当萨拉测量棒球的速度时，所得结果将会是棒球以100千米/秒的速度运动。

然而，从乔伊的角度来看，棒球的速度是它被水平抛出时的速度（100千米/秒）加上萨拉运动的速度（180000千米/秒）。所以当乔伊测量棒球的运动速度时，所得结果将会是棒球以180100千米/秒的速度

运动。

然而，如果光速恒定原则是正确的，那么光的运动就与棒球不同。举个例子，如果萨拉在乔伊上空时打开一盏闪光灯，那么当萨拉和乔伊测量光束前端的运动速度时，他们将会得到完全相同的结果，也就是300000千米/秒。总之，如果光速恒定原则是正确的，那么，光的运动模式就与棒球大为不同。

重申一下，光速恒定原则是狭义相对论赖以为基础的基本原则之一。

另一个原则通常被称为相对性原则（小心，不要把相对性原则与相对论相混淆）。粗略地说，相对性原则表述如下。

相对性原则（粗略版）：不存在一个优先视角来判定谁在运动而谁是静止的。

举个例子，在图23-1的情境中，乔伊完全可以认为自己是静止的，而萨拉在运动。然而，如果相对性原则是正确的（我们有足够的理由相信它确实是正确的），那么萨拉同样可以认为自己是静止的，而乔伊在运动。

正如前面提到的，这个相对性原则的表述多少有些粗略。关于这个原则，更严谨些的表述如下。

相对性原则（更严谨的版本）：如果两个观察者在两个完全相同的实验室里，只是两个实验室相对于彼此在进行匀速直线运动（也就是既不加速也不减速），如果此时两个实验室里正在进行完全相同的实验，那么两个实验的结果将完全相同。

举个例子，还是在图23-1的情境中，萨拉和乔伊相对于彼此在进行匀速直线运动。如果相对性原则是正确的，那么，萨拉所得到的任何实验结果都会与乔伊的结果相同，同样，乔伊所得的任何实验结果也都会与萨拉的结果相同。

重点是，如果相对性原则是正确的，那么在两个相对于彼此做匀速直线运动的实验室中进行实验，得到的结果也就不会存在差异。因此，在上面萨拉和乔伊的例子里，要说他们其中一个“真的”在静止而另一个“真的”在运动，就没有经验依据了。让我们花点时间来理解一下这个事实的重要性：如果相对性原则是正确的，无论如何都没有经验性基础去说萨拉或乔伊其中一位“真的”在静止，而另一位“真的”在运动。

在发表于1905年的论文《论动体的电动力学》中，爱因斯坦首次提出了现在所说的“狭义相对论”。论文中，他提出了相对性原则和光速恒定原则，并把它们假定为前提条件，也就是说，爱因斯坦实际上假设这些原则是确定存在的条件，并证明了在这两个原则基础之上有一个完整

的理论（狭义相对论）。随后，爱因斯坦证明了，这个新的理论可以用于解释当麦克斯韦电磁理论（我们在前一章进行了讨论）应用到运动物体时出现的某些问题。（这也就是为什么论文标题的焦点在于动体的电动力学，而没有提及任何新的相对性理论。）

然而，尽管相对性原则和光速恒定原则在最初的论文中被假定为前提条件，但这两个原则似乎是相当合理的。比如，在迈克尔逊-莫雷实验（在前一章中讨论过）和其他大量类似实验中，不管是什么样的实验条件，最终测量得到的光速都是相同的，这些都表明光速恒定原则是存在的。事实上，在介绍光速恒定原则时，爱因斯坦提到了上面这些实验。（爱因斯坦是否对迈克尔逊-莫雷实验特别熟悉，这一点并不清楚，不过他对其他类似实验确实很熟悉。）

相对性原则同样也是一个看起来很合理的原则。再思考一下图23-1中乔伊和萨拉的例子。根据示意图，乔伊在地面上（假设乔伊就站在地球表面），而萨拉似乎是在某种船上。我们凭直觉很可能会说乔伊是静止的，而萨拉在运动。然而，请注意，我们更青睐以地面为基础的视角，毫无疑问，这是因为我们大部分时间都在地面上度过。因此，既然我们自然而然地选取以地面为基础的视角是可以理解的，那么关于这个视角当然也就没有什么特别的。如果我们大部分时间都在火星表面上度过，我们自然会把火星表面当作我们通常的视角。如果我们在月球上出生长大，我们自然就会把月球表面当作我们通常的视角。如果我们大部分时间都在萨拉所在的那种船上度过，我们自然就会从船的角度出发。

这其中的基本准则是这些视角中没有一个是特别的，换句话说，没有哪个视角是优先的。因此，说乔伊是真的静止的，而萨拉是真的在运动，或者说萨拉是真的静止的，而乔伊是真的在运动，都是没有根据的。我们所能说的只是，从乔伊的视角来看，萨拉在运动，而从萨拉的视角看，乔伊在运动。总之，尽管在爱因斯坦最初的论文中，相对性原则和光速恒定原则都被当作是假定的前提条件，但它们其实都相当合理。

如果我们接受了相对性原则，那么当我们谈到运动时，必须把它理解为相对运动，也就是说，运动都是相对于某个视角的。这一点很重要，必须一直记在脑中，要说某人或某个物体在运动并没有问题，但这不能理解为绝对运动，而应该是相对运动，也就是从某一个视角来看的运动。

简单回顾一下：狭义相对论的基础是光速恒定原则和相对性原则。同时，光速恒定原则和相对性原则似乎都是非常合理的原则。

然而，要接受光速恒定原则和相对性原则，同时必须接受的是，对运动中的物体来说，空间和时间会发生一些让人惊讶的变化。具体来说，光速恒定原则和相对性原则会共同造成以下结果。

（1）时间膨胀　对运动的人和物体来说，时间流逝变得更慢。具体来说，在运动时，时间流逝按以下比率变慢：

$$\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

这个方程式被称为洛伦兹-菲茨杰拉德方程式。

（2）长度收缩　对运动的人和物体来说，长度会缩短。具体来说，在运动时，长度按以下比率缩短：

$$\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

（请注意，这个方程式与（1）中的相同，也就是洛伦兹-菲茨杰拉德方程式。）

（3）同时性的相对性　从一个正在运动的视角看来同时发生的事件，如果从一个静止的视角来看就不是同时发生的。举个例子，假设从萨拉的角度来看，她的两块时钟SC1和SC2是同步的，那么从乔伊的角度来看，这两块时钟就不是同步的。具体来说，SC1会比SC2快，快的时间如下：

$$\frac{\left(\dfrac{lv}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}\right)}{c^2}$$

在这个方程式中，l代表的是两块时钟之间的距离。这个方程式可以简化（lv）/c^2 为，其中l代表对移动观察点来说两块时钟之间的距离。在接下来的讨论中，我将使用这个简化的方程式。同样，请注意，相对

于运动方向来看位置在后面的那块时钟，时间将会走得更快。

值得强调的是，（1）（2）和（3）都是光速恒定原则和相对性原则经过演绎推理所得的结果。也就是说，只要运用高中代数的知识，就有可能在光速恒定原则和相对性原则的基础上以数学的方法得出（1）（2）和（3）。所以，如果光速恒定原则和相对性原则是正确的，那么只要基础性的数学方法值得信赖，（1）（2）和（3）所表达的效果一定也是正确的。

要理解（1）（2）和（3）如何应用，最简单的做法就是设想一个具体场景。所以，让我们再次以图23-1中的情境为例。首先，让我们看一看从乔伊的角度看来，这个情境究竟是什么样子的。

从乔伊的角度来看，萨拉在运动。重申一下，对运动的人和物体，时间流逝会变慢。具体来说，从乔伊的角度来看，时间对萨拉来说，流逝速度将会以按照前面（1）中计算得出的比率变慢，也就是以按照洛伦兹-菲茨杰拉德方程式计算出的比率变慢。所以，如果根据乔伊的时钟，时间过去了15分钟，那么在萨拉的时钟上，时间只过去了15分钟乘以$\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$，也就是12分钟。注意这个结果并不是因为萨拉的时钟有问题，也并不是乔伊的某种想象。在运动时，时间流逝更慢。既然从乔伊的角度来看，萨拉在运动，那么对萨拉来说，时间的流逝和她的时钟走过的时间都会少于对乔伊来说的时间流逝和乔伊的时钟所走过的时间。

同样地，对运动的人和物体，距离会缩短。举个例子，尽管萨拉测量得出她的两块时钟相距50千米，但是从乔伊的角度来看，这两块时钟之间的距离只有50千米乘以$\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$，也就是40千米。简言之，从乔伊的角度来看，与萨拉有关的距离变短了。

顺带提一下，值得指出的一点是，只有在运动方向上的距离才会按照上述比率缩短。这个细节至今一直没有提到，这里我将只做简要探讨。在萨拉和乔伊的例子里，运动方向可以说是水平的，因此（从乔伊的角度来看）与萨拉有关的距离，在水平方向上会以按照洛伦兹-菲茨杰拉德方程式计算出的比率缩短。在垂直方向上，与萨拉有关的距离完全不会缩短。所以，在萨拉和乔伊的例子里，从乔伊的角度来看，萨拉将会变瘦，但不会变矮。如果你感兴趣，下面是更详细的计算方法：假设运动方向为$\theta=0°$，那么$\theta=90°$就代表与运动方向垂直的方向，当所需计算或测量的距离的方向与运动方向之间的夹角θ在0°和90°之间时，这个距离将会以按照下列方程式计算出的比率缩短。

$$\frac{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}{\sqrt{1-\sin^2\theta\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

请注意，当θ＝0°时（也就是计算在运动方向上的距离时），这个方程式就简化成为洛伦兹-菲茨杰拉德方程式（因此，当计算在运动方向上的距离时，这个方程式计算出的结果与使用洛伦兹-菲茨杰拉德方程式的计算结果相同）。当θ＝90°时（也就是计算在与运动方向垂直的方向上的距离时），这个方程式就简化为1了，因此在与运动方向垂直的方向上，不存在空间缩减。接下来，我们要探讨的例子将只涉及在运动方向上的距离，因此，上面讨论的这个细节也就不需要再考虑了。

最后，让我们思考一下（3），也就是同时性的相对性。正如在（3）中提到过的，从萨拉的角度看起来是同时发生的事件，如果从乔伊的角度来看，就不是同时发生的了。举个例子，假设从萨拉的角度来看，她的两块时钟是同步的，而从乔伊的角度来看，它们就不是同步的。正如在前面（3）中解释过的，SC1将比SC2快（lv）/c^2 ＝0.0001秒。所以，从萨拉的角度来看，两块时钟同时读出正午12：00这个时刻。然而，从乔伊的角度来看，情况并非如此。SC1比SC2快0.0001秒。也就是说，当SC1指向正午12点整时，SC2距离中午12点还有0.0001秒。

到目前为止，我们一直从乔伊的角度来描述这个情境。不过，请回忆一下相对性原则。从萨拉的角度来看，她自己是静止的，而乔伊在运动。因此，让我们再从萨拉的角度来看看这个情境。从萨拉的角度来看，由于乔伊在运动，因此对乔伊来说时间流逝以按照洛伦兹方程式所算出的比率变慢。比如，对萨拉来说每过去15分钟，对乔伊来说只过去了12分钟。同样地，由于乔伊在运动，距离会缩短，因此乔伊的两块时钟只相距800千米。假设从乔伊的角度来看，他的两块时钟JC1和JC2是同步的，那么如果从萨拉的角度来看，它们就不会是同步的。具体来说，JC2会比JC1快（lv）/c^2 ＝0.002秒。

因此，正如前面提到过的，如果光速恒定原则和相对性原则是正确的，运动的物体就会出现奇怪的现象——长度缩短，时间流逝变慢，从一个视角来看同步发生的事件从另一个视角来看就不是同步的了。

| 不可抗拒的为什么 |

值得强调的是，前面所描述的运动对长度、时间和同时性的影响已经被无数实验证实。因此，运动会产生这些令人惊讶的效果，已经是毋庸置疑的了。在这种情况下，一个几乎不可抗拒的问题就是：为什么 会如此？为什么对运动的人来说，长度和时间都会被压缩？为什么两个事件是否同时发生取决于观察事件的视角是否在运动？与大多数人所秉持的有关空间和时间最基本且根深蒂固的观点相比，我们前面的讨论似乎大相径庭。如果我们前面刚刚讨论过的内容是正确的（当然，这些内容几乎毫无疑问是正确的，因为这些效果已经被无数经验证明），那么为什么运动会对长度和时间产生这些看起来很奇怪的效果？当了解到这个问题最准确的答案后，我相信恐怕大部分人的第一反应都会是觉得它不能令人信服，然而过上一段时间后，这个答案会让你产生兴趣（至少我是这么认为的）。为什么运动对空间和时间会产生这样的效果，最好、最准确的答案是，我们居住的宇宙本来就是这个样子的。我们的前人发现，出乎他们的意料，他们所居住的宇宙与自己先前所认为的并不一样，比如，宇宙并不是有目的性的、有本质属性的，天体也并不是沿正圆轨道匀速运动的。同样地，我们也发现，出乎我们的意料，在所居住的宇宙中，空间和时间与我们大多数人一直所认为的并不一样。换句话说，正如我们的前人发现他们一直坚信的经验事实其实是错误的哲学性/概念性事实，我们也发现，我们大多数人一直认为自己关于空间和时间的某些常识性观点是显而易见的经验性事实，但其实都是错误的哲学性/概念性事实。

| 狭义相对论自相矛盾吗 |

可能相对论看起来肯定有某种潜在矛盾。举个例子，从乔伊的角度来看，时间对萨拉来说流逝得更慢，因此萨拉比乔伊衰老得更慢。而从萨拉的角度来看，乔伊衰老得更慢。凭直觉来说，这两点似乎不可能同时都是正确的。比如，假设萨拉和乔伊是双胞胎，那么从乔伊的角度来看，他自己是双胞胎中年龄较大的那个，而从萨拉的角度来看，她才是年龄较大的那个。根据相对论，他们两人都是正确的。那么，如果不是相对论存在自相矛盾之处，他们怎么可能都是 双胞胎中年龄较大的那个人呢？

这一节的目标就是让你相信相对论不存在自相矛盾之处。据我所知，解释这一点最好的方法，就是大卫·莫明在其著作《狭义相对论中的空间和时间》中所使用的方法。下面的讨论主要得益于大卫·莫明在解释狭义相对论为什么不存在自相矛盾之处时所使用的方法。

再思考一下萨拉和乔伊的情境。在这次的解释中，我们只需要萨拉有一块时钟，因此将忽略她的第二块时钟。同时，把所有时钟都想象成数字时钟，这将会更方便我们的解释（比如，我们因此就可以说，时钟读数为0.00，而不是指向正午12点）。接下来，我将会展示两个时刻的

快照示意图，分别标识为时刻A和时刻B。作为讨论的前提，让我们假设以下陈述都为真。

（1）从乔伊的角度来看，他的两块时钟相距1000（j）千米。

（2）从乔伊的角度来看，他的两块时钟是同步的。

（3）情境中的运动速度为180000千米/秒。

（4）在我们所讨论的这个时刻，萨拉的时钟刚好在乔伊第一块时钟（JC1）的正上方，两块时钟读数均为0.00。

第一个时刻快照A是萨拉的时钟刚好位于乔伊的第一块时钟（JC1）正上方时。基于前面给出的背景信息，这个时刻快照如图23-2所示。零点几秒后，萨拉的时钟将会位于乔伊的第二块时钟正上方，这就是时刻快照B，如图23-3所示。

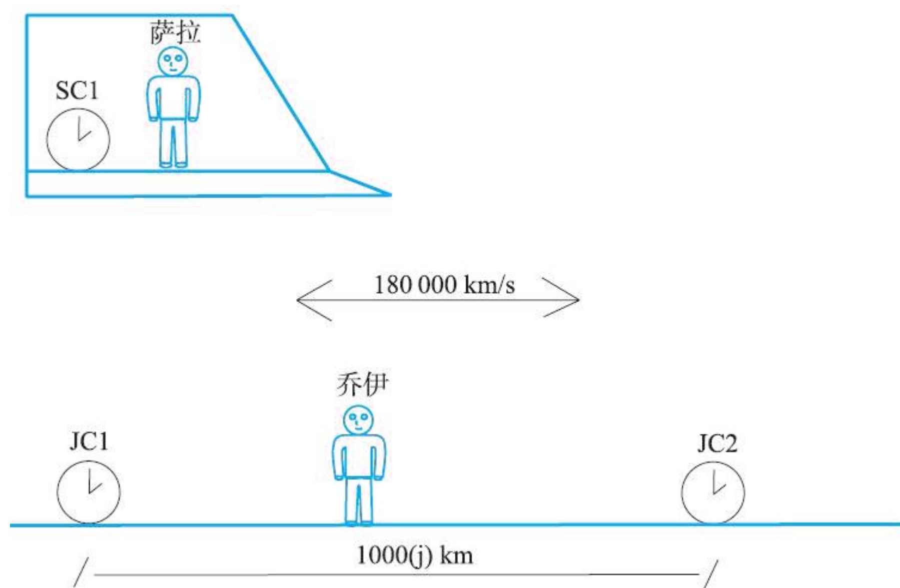


图23-2　时刻快照A

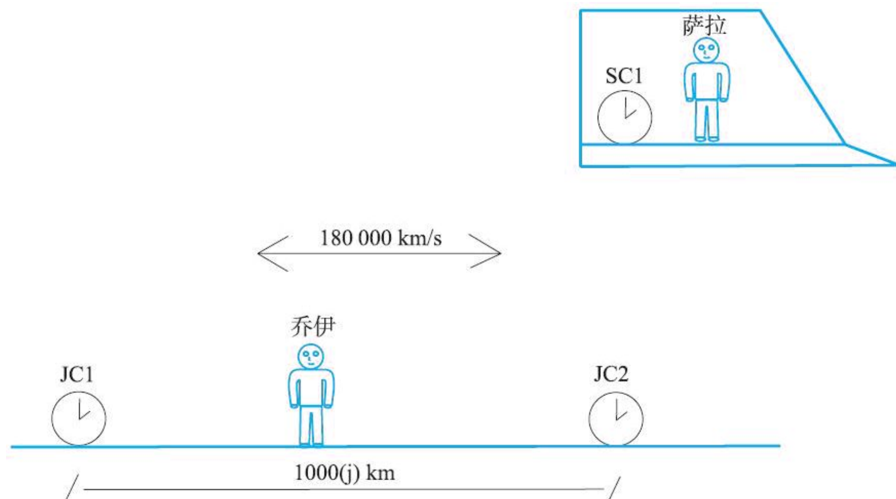


图23-3　时刻快照B

根据上面所描述的情境，下面就是分别从乔伊和萨拉的角度所看到的情况。

从乔伊的角度：

（J1）萨拉在运动，从左到右，速度为180000千米/秒。

（J2）时钟JC1和JC2相距1000千米。

（J3）时钟JC1和JC2是同步的。

（J4）在时刻快照A中，时钟SC1位于JC1正上方，所有三块时钟时间的读数是相同的，也就是，SC1、JC1和JC2的读数均为0.00。

（J5）在时刻快照B中，也就是零点几秒钟后，SC1移动到了JC2正上方。从时刻快照A到时刻快照B，萨拉以180000千米/秒的速度移动了1000千米，因此从时刻快照A到时刻快照B，时间过去了1000/180000＝0.00555秒。所以在时刻快照B中，当SC1位于JC2正上方时，JC2读数为0.005555。由于JC1与JC2是同步的，JC1的读数同样也是0.0055555。

（J6）由于萨拉在运动，时间流逝对她和她的时钟来说会变慢。具体来说，尽管对乔伊来说，从时刻快照A到时刻快照B，时间过去了0.005555秒，但对萨拉来说时间仅过去了0.005555× $\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$ 秒，也就是0.004444秒。换句话说，在时刻快照B中，SC1读数为0.004444。

现在，让我们从萨拉的角度来看看情形是怎样的。

从萨拉的角度：

（S1）乔伊在运动，从右往左，速度为180000千米/秒。

（S2）时钟JC1和JC2相距仅为1000× $\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$ ＝800千米。

（S3）时钟JC1和JC2不是同步的；JC2比JC1快（lv）/c^2 ＝0.002000秒。

（S4）在时刻快照A中，JC1位于SC1正下方，SC1和JC1读数都为0.00。但是，由于JC2与JC1不同步（参考S3），其读数为0.002000。

（S5）在时刻快照B中，也就是零点几秒钟后，JC2移动到SC1正下方，乔伊以180000千米/秒的速度移动了800千米，所以时间过去了1000/180000＝0.004444秒。因此，在时刻快照B中，当JC2位于SC1正下方时，SC1读数为0.004444。

（S6）由于乔伊在运动，时间流逝对他和他的时钟来说就会变慢。从时刻快照A到时刻快照B，尽管对萨拉来说时间过去了0.004444秒，但对乔伊和他的时钟来说，时间仅过去了0.004444× $\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$ ＝0.003555秒。不过，回忆一下，在时刻快照A中，JC2的读数为0.002000（参考S4）。由于在时刻快照A，JC2读数为0.002000，而从时刻快照A到时刻快照B，时间对乔伊来说过去了0.003555秒，那么在时刻快照B中，当JC2位于SC1的正下方时，JC2的读数将为0.002000＋0.003555 = 0.005555。

请注意，对于乔伊和萨拉可以共同验证的所有事实来说，有一点很重要。比如，在时刻快照A中，乔伊和萨拉的两块时钟相邻，因此，他们两人可以共同验证这些时钟上的时间。我们可以想象乔伊和萨拉分别在时刻快照A时拍了一张照片来展示SC1和JC1。两人的照片应该是一样的，因为它们所反映的是在空间和时间上相同的一个点。确实，两人的照片会表明SC1和JC1在时刻快照A时的读数都是0.00。

在时刻快照B中情形是相同的。这里JC2和SC1彼此相邻，因此萨拉和乔伊可以分别拍一张包含两块时钟的照片。同样地，两张照片应该看起来一样，除非这个宇宙比我们所想象的还要更加难以理解。事实上，两张照片将显示SC1读数为0.004444，而JC1读数为0.005555。

然而，尽管乔伊和萨拉都认为他们可以共同验证这些事实，但对发生了什么，他们的认识却会存在巨大差异。从乔伊的角度来看，从时刻快照A到时刻快照B，时间对自己来说过去了0.005555秒，而对萨拉来说只过去了0.004444秒。因此，从他的角度来看，自己是双胞胎中较年长的那一个。

但是从萨拉的角度来看，从时刻快照A到时刻快照B，时间对自己来说过去了0.004444秒，而对乔伊来说只过去了0.003555秒。因此，从她的角度来看，自己才是双胞胎中较年长的那一个。

简言之，乔伊和萨拉都认为自己是双胞胎中较年长的那一位。而且分别从他们各自的角度来看，他们的观点是同等正确的。

对于其他时钟的读数，乔伊和萨拉意见不同，这该如何解释

在结束这一节之前，让我们思考一下乔伊和萨拉的某些不同意见，这将对我们很有帮助。正如我们在前面看到的，当他们两人可以共同验证时钟读数时，乔伊和萨拉对时钟读数的意见一致。那么，他们的不同意见在哪里呢？具体来说，在时刻快照A中，萨拉和乔伊对距离乔伊较远的时钟JC2的读数意见不同；同样，在时刻快照B中，他们对JC1的读数意见不同。

在前面，我们讨论了让萨拉和乔伊分别给时钟拍照的想法，因为他们就在彼此旁边。我们意识到他们的照片将看起来相同。如果他们对远处的时钟拍照，情况会如何呢？回忆一下，在时刻快照A中，萨拉和乔伊对远处的时钟JC2读数意见不同。乔伊认为，在时刻快照A中，JC2的读数为0.00，而萨拉认为在时刻快照A中JC2的读数为0.002。因此，假设在时刻快照A中，萨拉和乔伊都给时钟JC2远距离拍一张照片，这种远距离拍摄的照片在技术上很难实现，但并不是不可能。那么，这样的一张照片，会不会显示萨拉和乔伊观点中的矛盾之处呢？

答案将是否定的，但是要理解这一点，我们需要考虑某些关于光和远距离照片的事实。首先，不要忘了，虽然光速很快，但也是一定的。也就是说，光从一个物体运动到你眼睛所在的位置或者照相机所在的位置，也需要一定的时间。要说明这个事实，考虑一下太阳发出的光线。太阳距离地球大约93000000英里，或150000000千米。以300000千米/秒的速度，太阳光需要约8分钟才能从太阳到达地球。所以，当你看到太阳的时候，照亮你眼睛的光线（或者说让你产生太阳这个视觉画面的光线）8分钟以前就离开了太阳。换句话说，你所看到的并不是当下这个时刻的太阳，相反，你所看到的是8分钟以前的太阳。

当你思考其他恒星发出的光线时，这个效果更为显著。举个例子，仙女座星系是你仅凭肉眼所能看到的最远的物体，这个星系距离地球2200000光年。当你观察这个星系时，你所看到的是220万年前的仙女座星系，而不是当下的仙女座星系，而如果你此时给这个星系拍一张照片，你所拍摄的将是仙女座星系220万年前的样子。

所以，如果在时刻快照A时，萨拉和乔伊对远处乔伊的那块时钟，也就是JC2，拍一张照片，他们必须考虑的是形成照片的光线需要花些时间才能从时钟运动到他们相机所在的位置。当他们考虑到这一点时，他们所处的情形将会是下面这个样子的：

当萨拉和乔伊为JC2拍照片时，他们的照片所反映的JC2上的读数将是一样的。具体来说，他们的照片都会显示JC2的读数为-0.003333。不要忘了前面的负号，这表示这块时钟比0.00还要早0.003333秒。当萨拉

和乔伊考虑了光线从JC2运动到相机所在位置所需的时间后，情形将如下。

从乔伊的角度：

乔伊的工作很简单。从乔伊的角度来看，光线从JC2到他相机所在的位置，运动了1000（j）千米。光线以300000千米/秒的速度运动，需要0.003333秒才能到达乔伊的相机。在按下快门的时刻，也就是时刻快照A的时刻，乔伊推断JC2的读数为-0.003333＋0.003333＝0.000，这是正确的（对乔伊来说）。接下来，乔伊得到结论，在时刻快照A时，他的两块时钟读数都是0.00，因此这两块时钟是同步的，这也是正确的（对乔伊来说）。

从萨拉的角度：

萨拉的计算有点困难。尽管如此，其中所需的也仅仅是基本代数知识。如果你想跳过细节，你可以信任我的计算结果，然后跳到本节结尾。不过，如果你感兴趣，下面就是萨拉的推理过程。

从萨拉的角度来看，乔伊在向自己运动，速度为180000千米/秒。由于来自于JC2的形成萨拉照片的光线以300000千米/秒的速度向萨拉运动，所以形成萨拉所拍摄照片的光线应该是在JC2与JC1之间的距离远大于800（s）千米时就从JC2出发了。而另一方面，乔伊以180000千米/秒的速度向萨拉运动。因此，在时刻快照A的时刻，形成萨拉照片的光线和乔伊同时到达萨拉所在的位置，但形成萨拉照片的光线早在JC2与JC1之间的距离远大于800（s）千米时就已经从JC2出发了。

要算出这束光线运动了多远的距离，萨拉的推理如下。假设d代表光线运动的距离（同样是指形成萨拉JC2照片的光线），t代表这束光线以300000千米/秒的速度从JC2出发到达萨拉相机所在位置花费的时间。然后，萨拉可知如下：

$$t=\frac{d}{300\,000}$$

不要忘了，乔伊与萨拉之间的距离比JC2与萨拉之间的距离少800（s）千米，而且乔伊在以180000千米/秒的速度运动，因此，萨拉可知如下：

$$t=\frac{d-800}{180\,000}$$

根据这些事实，只需要进行少量代数计算，萨拉就可以推断出形成照片的光线在JC2与自己相距2000（s）千米的时候就从JC2出发了。所以，这束光线以300000千米/秒的速度运动了2000（s）千米，需要0.00667（s）秒。由于JC2在运动，时间流逝对它来说会变慢。具体来说，如果时间过去了0.00667（s）秒，那么在JC2上，时间仅仅过去了0.005333（j）秒。因此，当光线到达萨拉的相机所在的位置时（也就是时刻快照A，乔伊和他的第一块时钟位于萨拉正下方时），JC2上的时间过去了0.005333（j）秒。

所以，萨拉推断，在拍照的时刻，JC2的读数为-0.003333＋0.005333＝0.00200，这是正确的（对她来说）。萨拉进而得出结论，乔伊的两块时钟不是同步的，这也是正确的（对她来说正确）。事实上，乔伊的第二块时钟JC2比第一块时钟JC1快了0.00200秒。

重申一下，请注意萨拉和乔伊对他们各自照片中的时钟读数意见一致，也就是两张照片都是时刻快照A的时刻，其中JC2的读数都是-0.003333。但是关于时间过去了多少秒、物体之间的距离是多少以及不同事件是否同步等命题，他们两人的意见并不一致。

| 时空、不变量以及研究相对论的几何学方法 |

在爱因斯坦发表狭义相对论后不久，他早年的一位数学老师，赫尔曼·闵可夫斯基（1864-1909）发现了所谓的时空间隔 是狭义相对论的一个不变量 属性。理解时空间隔将使我们在一定程度上了解与相对论有关的一个核心概念，也就是时空的概念，也会让我们理解变量和不变量性质。同时，这也可以让我们简要了解另一种常见的研究相对论的方法，也就是几何学方法。

有时，人们会听到这样的说法：根据爱因斯坦的相对论，“任何事都是相对的”，或者其他含义相似的表述。我们在前面已经看到了，从静止和运动两个观察点来看，长度、时间和同时性确实都会有所不同，因此这些属性是相对于观察点的。但是如果认为所有属性都是相对的，那就大错特错了。

我们已经看到了有一个属性不是相对的，那就是光速。根据光速恒定原则，不管从哪个观察点来看，光线（在真空中）运动速度的测量值总是相同的。那么，根据相对论，光速就不是相对的。不管从哪个观察

点看，始终保持不变，比如相对论中的光速，这种属性就被认为是不变量属性。

请注意，不同的理论常常对不同属性是变量还是不变量有不同的结论。举个例子，长度、时间（也就是两个事件相隔多长时间）和同时性（也就是两个事件是否同时发生）在牛顿世界观中被认为是不变量，但是正如我们在本章前面所看到的，根据相对论，这些属性并不是不变量。另一方面，根据相对论，光速是不变量，然而，牛顿体系却不认为光速是不变量。（回忆一下，前一章里我们讨论过用来测量不同光速的迈克尔逊-莫雷实验。正如在那里提到的，根据牛顿世界观对光运动模式的通常观点，对这个实验结果的预言是，在不同环境下，光速会有所不同。换句话说，在牛顿世界观中，光速被认为是一种变量属性。）

尽管根据相对论，随着观察点的变化，时间的流逝和两个地点之间的距离会发生变化，但闵可夫斯基发现与空间和时间的组合体相关的某个属性并不随观察点的变化而变化。也就是说，根据相对论，闵可夫斯基所引入的这个属性，即被称为“时空间隔”的概念，是不变量。要理解时空间隔，我们需要首先理解时空的概念。尽管“时空”和“时空连续统”听起来非常神秘，但它们的基本概念其实相当直接明了。

要理解时空的概念，让我们首先思考一个典型的二维笛卡尔坐标系，如图23-4所示。我们通常（即使并不总是）也都认为横轴和纵轴代表在空间中的位置。举个例子，假设我们把（0，0）点当作一个足球场的中心点。如果我们以米为单位，那么点（8，11）可能代表的点就是在一个方向上，比如在球场的一条边线方向上，与球场中心相距8米，而在另一个方向上，比如在球场上某个球门的方向上，与球场中心相距11米。

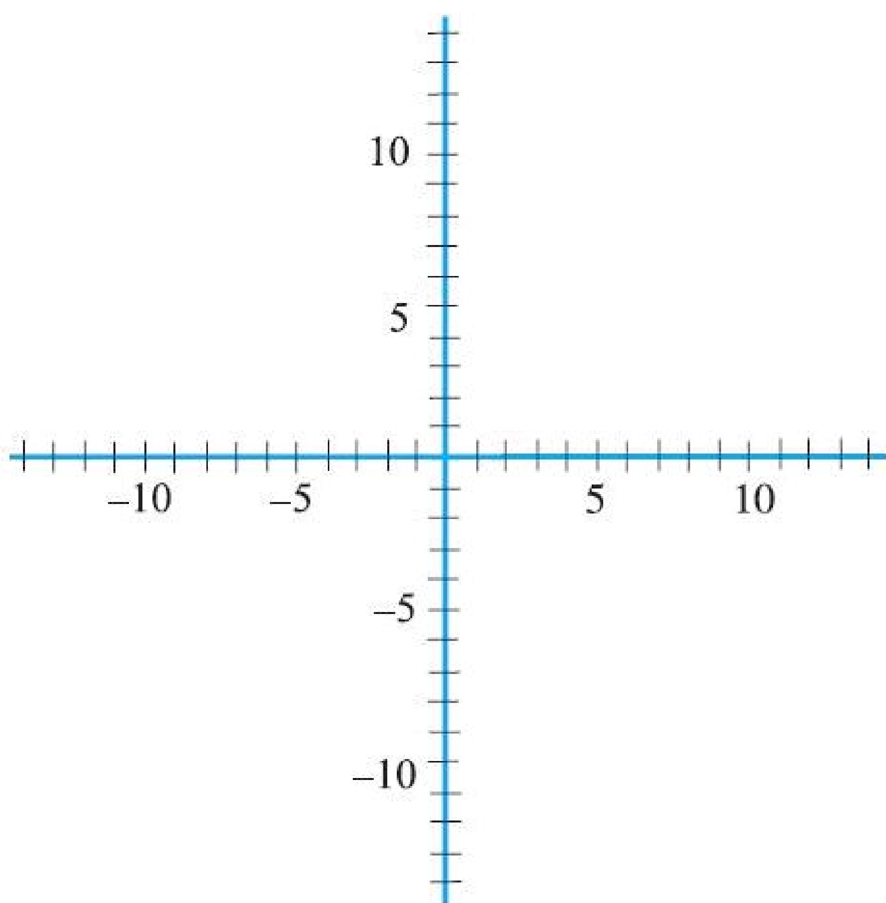


图23-4　一个典型的笛卡尔坐标系

接下来，假设我们认为横轴代表空间中的位置。具体来说，假设这根轴线代表的是足球场边线方向上的距离。但是，接下来我们并不把纵轴当作另一个空间维度，而是认为纵轴代表时间。假设有个人在我们的球场中心点，并在时刻0时开始向边线前进，速度为2米/秒。那么诸如（0，0）（2，1）（4，2）（6、3）此类的点将代表这个人以1秒为间隔在空间和时间中的位置。也就是说，（0，0）代表的是这个人在时刻0时位于点0，（2，1）代表的是这个人在时刻1时位于点2，在时刻2时位于点4，以此类推。

实际上，这就是时空的概念了。这个概念只是一种把一个点在空间和时间中位置同时呈现出来的方式。像我们刚刚在前面所描述的，其中除了时间，只有一个空间维度，这就是一个二维时空。如果除了时间，还包括所有三个空间维度，那就将是一个四维时空，在这个时空中的任意一点都可以用一个四元组来表示（x，y，z，t），其中x，y和z表示通常的三个空间维度，t表示时间。

现在既然我们对时空概念有了初步认识，让我们开始对时空间隔概念的讨论。再次思考一下图23-1中萨拉和乔伊的情境。我们很容易就可以想象出一个与乔伊的角度相关联的时空坐标系。假设我们把乔伊第一块时钟的中心作为这个坐标系空间维度的起始点，把乔伊第一块时钟读数为“0.00”的时刻作为时刻0。那么，我们就可以说乔伊第一块时钟读数为0.00的这件事发生在时空坐标（0，0，0，0）处。假设我们把x轴设为运动的方向，并把坐标系的空间单位设置为千米。就像我们一直以来的做法一样，我们假设（从乔伊的角度来看）乔伊的两块时钟是同步的，那么我们就可以说乔伊第二块时钟读数为0.00的这件事发生在时空坐标（1000，0，0，0）处。

现在，让我们思考一下这两个事件之间的时空间隔，也就是乔伊第一块时钟读数为0.00的事件和乔伊第二块时钟读数为0.00的事件之间的时空间隔。我们可以看到x轴上的空间间隔是1000，y轴和z轴上的空间间隔是0，时间间隔是0。如果我们用Δx、Δy和Δz分别代表两个事件在x、y和z轴上的空间间隔，用Δt代表两个事件之间的时间间隔，那么两个事件之间的时空间隔s可以用下面这个方程式来表示：

$$s^2=c^2\Delta t^2-\Delta x^2-\Delta y^2-\Delta z^2$$

因此，在这个例子里，两个事件之间的时空间隔就是 $\sqrt{c^2 0^2-1000^2-0^2-0^2}$。（顺带提一下，在这个例子里，结果将会是一个虚数，也就是一个与-1的平方根有关的数字。虚数并不像自然数或有理数那么广为人知，但是虚数仍然是数学中一种很容易理解而且被广泛应用的数字。）

从某个意义上说，时空间隔是事件之间的某种距离。不是两个事件在空间上相隔的距离，也不是在时间上的间隔，而是运用一种同时涉及空间和时间的测量方法后得出的两个事件间的间隔。

我们在前面提到过，根据相对论，时空间隔是一个不变量属性。要说明这一点，让我们把萨拉重新考虑进来。在前面的例子里我们看到，可以设想出一个与乔伊的角度相关联的时空坐标系。当然，我们同样也可以设想一个与萨拉的角度相关联的时空坐标系。为了便于讨论（不是必须这么做，但是这将简化我们的讨论），我们将假设萨拉时空坐标系的起始点与乔伊时空坐标系的起始点相同。请注意，从乔伊的角度来看，与萨拉相关联的坐标系是一个移动坐标系。由于这个坐标系在运动，根据我们在本章前面的讨论，可以知道时间、长度和同时性都会受到影响。

举个例子，我们刚刚在乔伊的坐标系里看到了，乔伊第一块时钟读数为0.00的事件与他第二块时钟读数为0.00的事件分别发生在坐标点（0，0，0，0）和（1000，0，0，0）处。然而，在萨拉的坐标系中，这两个事件发生时的距离并不是1000千米，也不是同步发生的。总的来

说，同样的事件在萨拉坐标系中的时空坐标会与其在乔伊坐标系中的时空坐标有所不同。

然而，有一系列直接明了的方程式，被称为“洛伦兹变换”，可以让我们把一个静止时空坐标系中的坐标转换成运动的时空坐标系中的坐标。（在本章正文中，我没有给出这些方程式，但如果你感兴趣，可以在本书结尾的章节注释中找到这些方程式。同时，这里与我们在本章中一直假设的一样，我们认为坐标系相对于彼此进行匀速直线运动。）使用洛伦兹变换方程式把乔伊坐标系中的坐标点（0，0，0，0）和（1000，0，0，0）转换成萨拉坐标系中的相应坐标点，就分别得到了（0，0，0，0）和（1250，0，0，-0.0025）。

如果我们用上面的方程式计算这两个事件在萨拉坐标系中的时空间隔s，我们将会看到结果与在乔伊坐标系中计算得出的结果相同。一般来说，任意事件之间的时空间隔在相对于彼此进行匀速直线运动的不同坐标系中都是相同的。所以，尽管相同事件在不同坐标系中的空间间隔和时间间隔会发生变化，但它们的时空间隔不会发生变化。重申一下，这也就是说，时空间隔在相对论中是一个不变量属性。

在这一节，我们对时空的概念有了一些了解，探讨了一个与时空相关联且更具重要意义的不变量属性，也就是时空间隔。作为这一节的最后一点，值得一提的是，这种“几何学”方法，也就是认为所有的点都是在相对于彼此进行运动的四维时空坐标系中的点，并使用洛伦兹变换将一个坐标系中的点转换到另一个坐标系中，是研究相对论的一个常用方法。这种几何学方法为解释与相对论相关的命题提供了一种便利的做法，可以满足多种不同目的的需求。当然，通过这种几何学方法，你同样也会发现我们在本章前面讨论过的那些相对论的效果，也就是时间膨胀、空间压缩以及同时性的相对性。

| 结语 |

在本章中，我们探讨了爱因斯坦的狭义相对论，并且看到了，对于我们通常认为是常识的有关空间、时间和同时性的观点，这个理论具有非同小可的意义。有了爱因斯坦狭义相对论，我们可以看到某些我们长期所秉持的观点，尽管大多数人都认为它们是显而易见的经验事实，但实际上是错误的。因此，相对论让我们不得不重新审视这些我们长期以来所秉持的观点。在下一章中，我们将简要探讨广义相对论，注意它对我们的常识性观点同样产生了非常有意思的影响，这一点在我们对重力的认识上尤为明显。

第24章　广义相对论

从1907年到1916年，爱因斯坦花了大量时间和精力来发展广义相对论。正如前面提到过的，广义相对论比狭义相对论要复杂得多。我们在这一章的主要目标是大致了解广义相对论的主要内容，并探讨这个理论的某些主要影响。首先，我们将探讨几个作为广义相对论基础的基本原理。

| 基本原理 |

在前一章中，我们看到了，狭义相对论以两个基本原则为基础，也就是相对性原则和光速恒定原则。广义相对论同样以两个基本原则为基础，通常被称为广义协变性原理 和等效原理 ，这对广义相对论来说具有重要的意义。

广义协变性原理通常概括表述为：在任何参考系中，物理定律都是相同的。要解释这个原理，最简单的方法就是把它与前一章所讨论的相对性原则进行对比。回忆一下，相对性原则是说，如果有两个实验室，它们唯一的不同之处就是相对于彼此在进行匀速直线运动，那么如果在两个实验室中进行完全相同的实验，实验结果将完全相同。因此，以图23-1为例，如果萨拉和乔伊唯一的区别在于他们相对于彼此在进行匀速直线运动，那么如果他们进行相同的实验，就将得到相同的结果。

在狭义相对论那一章中，我经常谈到观察点，比如首先从乔伊的角度描述一个情境，然后再从萨拉的角度描述。这样的观察点通常被称为“参考体系”，或简称为“参考系”。像萨拉和乔伊这样仅涉及匀速直线运动的参考系被称为“惯性参考系”（或简称为“惯性系”）。利用惯性参考系的概念，相对性原则可以更简明地表述为，在所有惯性参考系中，相同的实验可以得到相同的结果，或者换个说法，也就是物理定律在所有惯性参考系中都是相同的。确实，相对性原则常常表述如此。

请注意，当我们重新表述相对性原则后，就会发现，广义协变性原理其实是一个更为概括化的相对性原则（事实上，尽管这个原理现在通常被称为广义协变性原理，但爱因斯坦常常称之为“相对性的广义原理”）。因此，相对性原则从本质上是说物理定律在所有惯性参考系中都是相同的，而广义协变性原理所表述的则是在所有参考系中，物理定律都是相同的，不管这些参考系相对于彼此在进行怎样的运动。这恰恰就是广义相对论被认为是一个广义理论的原因。狭义相对论适用于某些满足了某种特定条件的特殊情况，也就是与惯性参考系有关的情况，而广义相对论则突破了这个限制，可以适用于所有参考系。

现在让我们转向广义相对论的另一个基本原理，那就是等效原理。等效原理表述为：加速度产生的效果和重力产生的效果是无法进行区分的。要说明这个原理，最好的方法可能就是借用爱因斯坦常用的例子，

详情如下。

假设你在一个大小和形状与电梯轿厢类似的封闭房间中，因此看不到房间外面的情况。在第一种情境中，假设这个“电梯轿厢”在地球表面上（但你并不知道），因此，你会感受到地球的引力场，具体是什么样的感受呢？最明显的是，你觉得自己好像是在被拉向轿厢地面，也会注意到下落的物体以9.8m/s^2 的速度向地面加速。

现在假设（你同样不知情）你和这个电梯轿厢位于宇宙中一个多少有些空旷的区域（因此不受任何一个引力场的明显影响），但是电梯轿厢正在以9.8m/s^2 的速度加速“上升”（也就是从轿厢地面向天花板画一条直线，你和轿厢就是沿这条直线的方向“上升”）。你将会从这种上升运动中感受到怎样的效果？同样地，你会觉得自己被拉向轿厢地面，也会注意到下落的物体以9.8m/s^2 的速度向轿厢地面加速运动。

需要注意的核心点是，第一种情境中重力产生的效果和第二种情境中加速度产生的效果相比，是无法彼此区分的。重力效果和加速度效果之间这种紧密的关系早在牛顿时代就被发现了。尽管如此，在牛顿物理学中，这两种效果仍被当作彼此独立的现象，而它们之间紧密的联系似乎只是巧合。但是在相对论中，等效原理则表明，从本质上来说这两种效果不存在差异，也就是这些效果无法彼此区分开来。

那么总结一下，像狭义相对论一样，广义相对论也是以两个基本原理为基础的，这一点具有重要意义。了解了这一点，我们接下来将简短讨论广义相对论的几个核心方程式，并探讨这个理论的某些证实证据。

| 爱因斯坦场方程和广义相对论的预言 |

在前面我们已经讨论过，广义相对论是以广义协变性原理和等效原理为基础的，这一点具有重要意义。在前一章中，我们看到了狭义相对论同样以两个基本原则为基础，同时，我们也看到了狭义相对论两个基本原则的数学“表达”展现了某些与长度、时间和同时性有关的令人惊讶的效果。我们同样提到过，想要推导出与这两个基本原则相关的数学表达并没有那么困难（在那一章里我们实际上并不是从基本原则中推导出了与长度、时间和同时性相关的效果，但我说过，这个推导过程只需要高中代数知识，尽管不算简单，但也不是特别困难）。

广义相对论的情况则大为不同。尽管广义相对论的两个基本原则表述起来并不困难，但实际上要推导出遵循这些原则的数学方程式却并不容易。爱因斯坦花了几年时间来推导这些方程式，很多初步结果后来都需要撤回或者大量修正。简言之，两个基本原则所需的数学描述是花费了大量时间才推导出来的。而且与狭义相对论的方程式不同，广义相对论的方程式本身也都相当复杂。

不过，到了1916年，爱因斯坦终于推导出了他一直在寻找的方程

式，并于同年发表了一篇题为《广义相对论的基础》的论文，将这些方程式公布于众。这些方程式现在被称为爱因斯坦场方程，是广义相对论的数学核心，其基本思路是这些方程式所得的解可以表明空间、时间和物质是如何相互影响的。举个例子，其中一个解表明了当存在一个像太阳这样的物体时，空间和时间会受到怎样的影响。另一个解则表明了当一个大质量恒星坍缩形成一个密度非常大的残骸时，空间和时间会受到怎样的影响（比如，所谓的黑洞，也就是可能由质量非常大的恒星坍缩而形成的残骸，其对空间和时间所产生的效果就是以爱因斯坦场方程解的形式表达出来的）。

与狭义相对论相似，广义相对论同样做出了某些预言。我会简要讨论某些预言，然后多花些时间来探讨广义相对论带来的另一个影响，也就是时空曲率。

在第8章开头，我们简要讨论过，曾经有那么几十年的时间，人们始终都可以观测到水星轨道的一些奇怪之处。回忆一下，行星沿椭圆轨道运行，这与牛顿科学的预言是完全一致的。现在，设想一下水星轨道上距离太阳最近的一个点。这个点被称为近日点，而从19世纪中期到末期的几十年间，人们所观察到的是，水星每围绕太阳运转一周，其轨道近日点就会发生一点变化，好像近日点在以非常非常缓慢的速度围绕太阳运转。水星近日点每年的移动量非常非常小，但是仍然可以测量到，而且这样的变化并不符合牛顿科学对行星运动的描述。然而，在1916年的论文中，爱因斯坦指出，根据他的广义相对论方程式，水星近日点应该每年都有进动，而爱因斯坦利用广义相对论所预言的进动量恰好就是人们实际观察到的水星近日点移动量。这就是关于广义相对论的一个相当直接明确的证实证据，也是我们在第4章中讨论过的一类证据。

与此类似，在1916年的论文中，爱因斯坦还提出，如果广义相对论是正确的，那么远离强引力场的光线，其波长应该会向光谱的红色端偏移。这个效果被称为引力红移。由于恒星都具有一个很强的引力场，离开恒星的光线，比如离开太阳的光线，应该会发生红移。要验证广义相对论所预言的红移并不容易，不过在已经进行过的试验中，观察到的红移现象都与广义相对论的预言相吻合，再次为广义相对论提供了证实证据。从质量较小的物体离开的光线，比如离开地球的光线，同样会有红移现象，尽管根据广义相对论的预言，这个红移量相当小，但仍然被测量到了，而且测量结果与广义相对论的预言相当一致。

在前一章讨论狭义相对论时，我们看到了，运动对空间和时间都会产生影响。在广义相对论中，运动对空间和时间也会有类似影响。同时，重力（或者换个等同的说法，就是加速和减速的效果）同样会对空间和时间产生影响。举个例子，当存在一个强引力场时（或者换个等价的说法，就是在一个正在加速的参考系中），时间流逝会变慢。重点是，与狭义相对论不同，从某个意义上说，这些效果不是对称的。举个例子，假设乔伊继续留在地球表面，萨拉则出发去执行一项在高速空间中的任务。假设萨拉加速运动了一段时间，在抵达目的地时减速，然后

调头，开始返回地球，因此，萨拉又进行了一段加速运动，并在靠近地球时减速。在这次旅行期间，萨拉将会感受到加速和减速产生的效果，而乔伊则不会体验到这些效果。在这种情况下，广义相对论预言，对萨拉来说，时间的流逝会比对乔伊少，萨拉和乔伊也都会认可这一点。

由于我们现有的计时工具已经非常准确，验证时间上的效果并不困难，而广义相对论所预言的效果也都得到了很好的证实。根据相对论，即使是一幢高楼的一层和顶层之间，引力差异非常小，顶层时间流逝速度和一层时间流逝速度相比也会存在差异。即使是这些时间流逝速度上的微小差异也都已经被测量到了，而且与广义相对论所预言的相同。总之，有很多证实证据可以证明广义相对论。

在第4章开头我们提到过，1919年日食期间所观测到的恒星光线弯曲成了广义相对论的第一个证实证据。这个观测结果同时让我们看到了广义相对论更有趣的一个预言，那就是时空曲率。因此，值得我们放慢速度来探讨一下。

要理解广义相对论所预言的时空曲率，举个例子可能会有所帮助，这个例子与相对论无关，但便于我们与相对论进行对比。假设我们有一块棒状磁石，并在磁石上面盖了一张纸。接下来，我们在纸上放一些铁屑，并轻轻摇晃一下。在这种情况下，铁屑会以一种特定的方式在纸上分布，这种分布方式就反映了围绕在磁石周围的磁场。磁场本身通常被描绘成图24-1中的样子。在这样的图片中，每一条线通常都被称为磁力场线，代表了磁场的强度和方向。具体来说，在磁场较强的地方，磁力场线更密集；在磁场较弱的地方，磁力场线之间的距离更大。（为了便于呈现，图24-1实际上比大多数磁场示意图都更简化了一些。通常，磁场示意图会包括更多磁力场线，线上还会有箭头表明磁力方向。）现在，请注意这个示意图的一个重要特点，也就是磁力场线代表的是存在于在空间中，可能也存在于时间中的力。也就是说，磁力场线表明，比如，在磁石附近的一个特定空间内，铁屑将受到某种磁力作用，而且可能会以一种特定方式在空间和时间中运动。简言之，空间和时间通常是这些磁力场线的背景，或者换句话说，这些磁力场线似乎是存在于空间和时间中的。

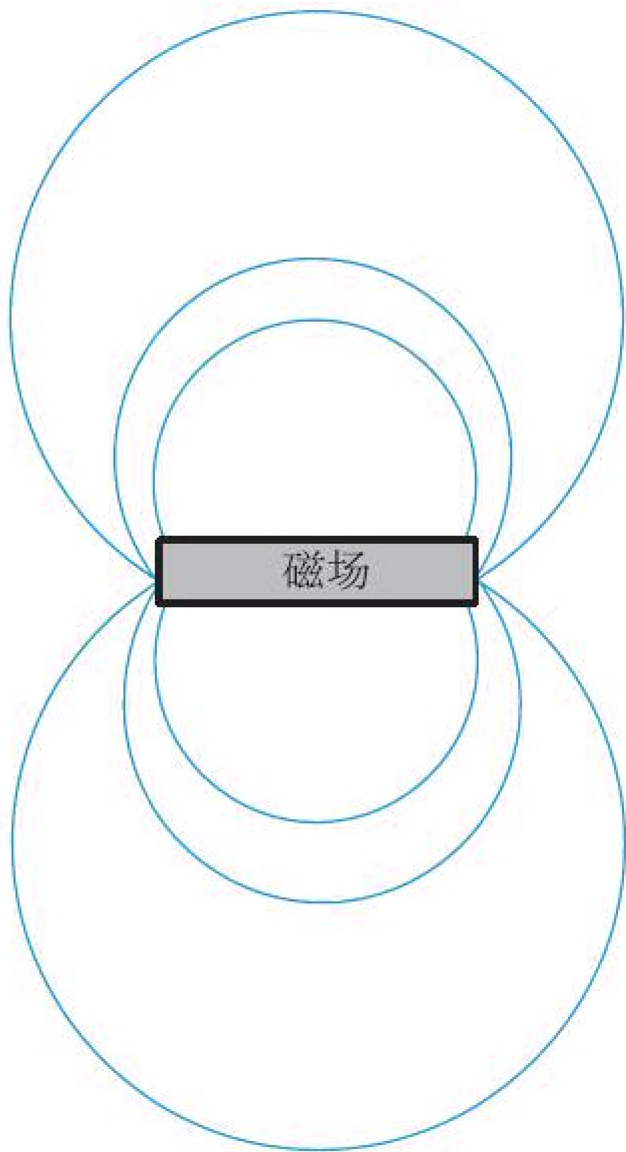


图24-1　磁力场线

现在，思考一下图24-2，这也是讨论广义相对论时常见的一种示意图。乍看起来，这个图中的磁力场线与图24-1中的磁力场线非常相似。但是，这两个示意图有一处关键不同，那就是图24-2中的磁力场线所代表的并不是存在于空间和时间中的一个磁场；相反，这些磁力场线所代表的是时空曲率本身。（顺带说一下，我们在前一章中已经看到了，时空是一个四维连续统，其中三个维度是常规的空间三维，第四个维度是时间。像图24-2这样的示意图通常代表的是四维时空的一个二维“切片”。）

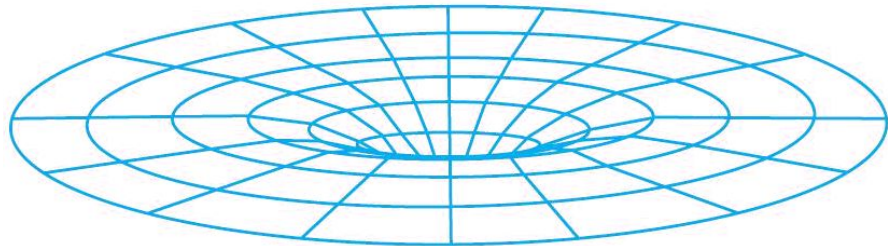


图24-2　广义相对论中的典型磁力场线图

根据广义相对论，大质量物体的存在导致了时空曲率。在像图24-2这样的示意图中，磁力场线所代表的是由于存在像太阳这样的大质量物体而产生的时空曲率。在这样的示意图中，如果一个物体沿“切片”表面运动，两点之间的最短路线将是一条曲线（这样一条最短路线被称为测地线）。由于光线会沿最短路线传播，因此，当经过像太阳这样的大质量物体时，光线应该会沿一条看起来弯曲的路线传播。简言之，如果广义相对论是正确的，像太阳这样的大质量物体就会导致时空曲率，因此，我们应该可以观察到恒星光线在太阳这样的物体附近发生弯折。

在1916年的论文中，爱因斯坦给出了恒星光线经过太阳附近时发生弯折的具体数据。在第4章里我们已经讨论过，在1919年日食过程中观察到了恒星弯折，且与爱因斯坦的预言非常一致，这成了广义相对论的又一个证实证据。

总结一下，广义相对论做出了许多不寻常的预言，我们在前面对其中最著名的几个进行了讨论。实际观察结果与这些预言一致，而且，总的来说，广义相对论已被广泛认为是一个得到了充分证实的理论。

| 哲学反思：广义相对论和重力 |

在结束本章之前，最后还有一个与广义相对论紧密相连的命题值得讨论，那就是这个理论对重力的解释。说对重力的解释是与广义相对论紧密相连的一个命题可能有点轻描淡写，因为对广义相对论通常的解读是，它从根本上说就是一个关于重力的理论。

在前面的讨论中，我们看到了，光线会沿最短路线传播。在广义相对论中，不受任何力的作用的物体也会沿最短路线运动，也就是说，这些物体通常沿测地线运动。重点是，像行星这样的物体，并不是受到了任何吸引力才呈现出其运动模式，这与牛顿世界观中通常关于重力的观点相比，是一个关键不同点。比如，火星围绕太阳沿椭圆轨道运转并不是火星与太阳之间相互的吸引力或者说万有引力的结果。相反，与其他运动的物体一样，火星沿直线运动。

然而，在一个弯曲的空间中，“直线”其实是测地线。正如我们在前面看到的，根据广义相对论，像太阳这样的物体会导致时空曲率。根据

广义相对论方程式，这个曲率之大，会使火星运动所沿的测地线变成围绕太阳的一个椭圆形。换句话说，在广义相对论中，像火星和太阳这样的物体之间不存在吸引“力”。事实上，火星只是沿直线运动，但是由于时空曲率，这条直线变成了围绕太阳的一个椭圆形。

请注意，广义相对论中有关重力的观点与牛顿科学中有关重力的观点有显著不同。在牛顿科学中，重力通常被认为是物体之间的吸引力。在第20章结尾处，我们看到了，如果采用现实主义的态度，这样的力似乎是在一段距离之外发生的动作。同样在第20章中我们也讨论了，正是这层“在一段距离之外发生的动作”的意思，让牛顿非常烦恼，因此，他选择了用工具主义态度来对待重力。

尽管牛顿本人采用了工具主义态度，但是大多数在牛顿世界观教育下长大的人们都倾向于采用现实主义态度来对待重力。再引用一下我们在前面用过的例子，如果我往地上扔一支笔，然后提问“为什么笔会下落”，标准答案会是，这支笔因为重力而下落。如果问题是重力是否真实存在，那么通常的回答都会是，当然存在。也就是说，人们总的来说倾向于把重力当作物体之间真实存在的吸引力。简言之，在牛顿世界观中，人们通常用现实主义态度来看待重力。

然而，现在，请注意广义相对论中有关重力的观点有一个有趣的结果。正如前面提到过的，广义相对论是一个得到了充分证实的理论。如果我们用现实主义态度来对待广义相对论，实际上就等于让我们不得不用工具主义态度来对待牛顿世界观中重力的概念。也就是说，如果物体落向地球或行星围绕太阳沿椭圆轨道运行，都是时空曲率的结果，而不是物体之间任何吸引力作用的结果，那么说重力是一种吸引力最多就是一个为了方便讨论但字面上并不正确的说法。

总结一下，广义相对论是一个得到了充分证实的理论。值得注意的是，在预言和解释方面（列举其中两个，也就是对水星近日点进动和对恒星光线弯折的预言和解释），广义相对论的表现优于牛顿理论。牛顿理论仍然是一个非常有用的理论，但是如果我们要说哪一个理论更准确地描述了已知数据，答案几乎毫无疑问是广义相对论。

因此，如果我们倾向于用现实主义态度对待物理学理论，那么我们应该用现实主义态度对待相对论，而用工具主义态度对待牛顿理论（毕竟牛顿物理学仍然非常有用，尽管它的描述严格说来并不正确）。请注意，我们因此而不得不采用工具主义态度来对待“重力是一种吸引力”的概念。换句话说，广义相对论使我们不得不对一种最容易被当作是理所当然的态度（也就是对待“重力是一种吸引力”的概念时的现实主义态度）进行重新评估。总之，像狭义相对论一样，广义相对论使我们不得不重新审视某些通常的观点。

| 结语 |

在本章和前一章中，我们看到了，狭义相对论和广义相对论对我们大多数人一直认为是基础性的、常识性的观点产生了很有意思的影响。这些观点涉及长度、时间间隔和同时性，以及对重力性质通常的认识。特别是关于重力，广义相对论使我们不得不采用工具主义态度来对待“重力是一种吸引力”的常识性概念。

回忆一下，在17世纪，新发现迫使人们改变了对世界通常的认识。同样地，我们现在也看到了，新发现也在迫使我们重新评估自己某些关于这个世界通常的观点。在最后一章，我们将再次就爱因斯坦相对论对牛顿世界观的某些影响进行讨论。不过，首先我们将探讨一下20世纪物理学的另一个主要分支，也就是量子理论。

第25章　量子理论的经验事实、数学方法和诠释概述

在前面两章中，我们探讨了狭义相对论和广义相对论，看到了与空间和时间的性质及重力性质相关的观点，这些理论和观点都产生了有趣的影响。在本章中，我们将转向现代物理学的另一个分支，也就是量子理论。接下来，我们很快就会看到有关量子理论的新近发现同样产生了重要影响。

量子理论是一个容易让人迷惑的理论，因此，如果我们想准确地了解其概况，就需要非常谨慎。我们的策略是，首先解释三个相关命题之间的一个关键性区别，这三个命题分别是①涉及“量子实体”的经验事实，②量子理论本身，也就是量子理论的数学核心，以及③与诠释量子理论有关的命题。澄清了这三个命题后，我们将在本章的后续几节中对它们进行逐个研究。

| 事实、理论和诠释 |

正如前面提到过的，在任何关于量子理论的非技术性探讨中，至少需要区分三个独立的命题，分别是①量子事实，也就是涉及量子实体的经验事实，②量子理论本身，这里我所指的是量子理论的数学核心，以及③对量子理论的诠释，这与一系列哲学问题有关，比如什么样的现实可以产生量子事实，以及什么样的现实可能与量子理论本身保持一致。不幸的是，在通常关于量子理论的非技术性探讨中，这些命题往往都被混为一谈。举个例子，经常可以看到有观点称量子理论表明西方科学和某些东方哲学在对宇宙的看法上由于观点相同而融合了。但这其实是错误的，或者往好里说，是相当容易让人产生误解的。某些对量子理论的诠释认为有这样的融合存在，但是对一个理论的诠释和理论本身，两者应该是保持相互独立的命题。再举一个例子，同样经常可以见到有观点表示量子理论表明宇宙在持续分裂成多重平行宇宙。然而，同样地，某些对量子理论的诠释表达了这种情况的存在，但量子理论本身并没有。

围绕量子理论的命题非常复杂，这已得到公认。但是，如果我们逐步而又谨慎地探讨这个话题，那么我们就可以很好地概括了解量子理论及其相关命题，重点是，这种概括了解也会相当准确。我们的第一步将是简要描述上面提到的三个命题之间的区别。

量子事实

当我谈到量子事实时，我所指的只是涉及量子实体的经验事实。这样的事实将包括有关电子、中子、质子和其他亚原子粒子的实验结果；有关光子，也就是光线单元的实验结果；以及有关放射性衰变时释放出的粒子等的实验结果。

在本章后续篇幅中，我们将看到这些事实都非常出人意料，但并不存在争议，也就是说，对于这些事实是什么，不存在争议。存在争议的是如何诠释这些事实，比如，什么样的现实可以带来这样不同寻常的事实。但是，涉及诠释的命题需要与对量子事实本身的描述区分开来。

值得指出的是，对于什么物体可以被精确归为量子实体，我故意保持了模糊。前面提到过的实体，也就是包括电子和质子在内的亚原子粒子和光子及与放射性衰变有关的粒子，都很明确是量子实体。因此，在接下来的大部分讨论中，我们讨论的量子事实都将是关于这些粒子的事实。但是，请记住，所有物体，包括你、我、桌椅等，都是由这些较小的实体组成的。然而，正常大小的物体是否应该被当作量子实体，存在一定争议。因此，接下来，我将主要强调的量子事实所涉及的都是不存在争议的量子实体，比如上面提到的那些粒子。

量子理论本身

与大多数自牛顿著作和其他17世纪晚期科学家著作问世以来出现的物理学成果一样，量子理论是一个以数学为基础的理论。当我谈到“量子理论本身”时，我脑中出现的主要是在量子理论中处于核心地位的数学部分。量子理论的核心数学部分发现于20世纪20年代末期，它与其他物理学分支中的数学差不多。最值得注意的是，量子理论数学是用来预言和解释前面提到的那些量子事实的。

最后，我还想简要讨论的一点是，量子理论数学到目前为止取得了巨大成功。量子理论数学在过去70年中几乎从来没有发生过变化，也没有做出过不正确的预言。在预言和解释方面，量子理论可以说是我们所遇到过的最成功的理论了。

对量子理论的诠释

对量子理论的诠释实际上是一个关于现实的本质的哲学话题，具体来说，对量子理论的多种不同诠释，其核心都围绕一个问题，那就是“什么样的事实可以同时与量子事实和量子理论本身保持一致”。也就是说，可能量子事实是由某种业已存在的现实造成的，而且鉴于量子理论数学在预言和解释这些量子事实方面非常成功，那么认为量子理论数学从某种意义上说与现实有联系就是非常合理的。因此，诠释所围绕的问题就变成了，“什么样的现实既与已知量子事实和量子理论数学相一致，又可以导致这些量子事实”。

在接下来的几个小节中，我们将更详细地探讨量子理论的事实、数学和诠释。我在前面提到过，这些内容很容易被混为一谈，如果出现了这种情况，你就很容易对围绕量子理论的命题和这个理论可能的影响感到困惑，并对它们产生误解。接下来，我不会要求你保持快速，以确保你可以对量子事实、量子理论本身和对量子理论诠释之间的区别保持清醒。

某些量子事实

在这一节中，我们将看到通过涉及电子、光子和其他量子实体的实验所得到的某些相当直接明确的经验结果。下面描述的实验，或者与之相似的其他实验，通常被用来表达与量子事实有关的某些奇妙之处。这些实验主要涉及电子和光子。电子是原子的组成部分，用一支电子枪就可以轻松发射出来。电子枪是用来发射电子束的设备，非常常见。举个例子，老式电视机（非平板电视）背部有一个电子枪，电视画面就是通过引导电子枪发射出的电子运动到屏幕上合适的位置而产生的。而光子则是光线的单元，当然，可以由多种方式产生，比如手电筒。

为了便于讨论，我暂时不想把关注点局限于量子事实本身，也就是实验结果本身，而是对现实进行一个简短的讨论。请注意，这将让我们短暂接触与诠释有关的命题，但是这样做将会使我们的讨论更简单。很快我们就会回到对事实本身直接明确的思考上来。

对现实命题的短暂讨论

我们马上就会看到，某些涉及量子实体的实验结果与“量子实体是波”的观点最为一致，而某些实验结果则与“量子实体是粒子”的观点最为一致。假设我们现在思考一个现实问题：电子、光子和类似实体到底是粒子还是波？

让我们先花点时间来认清波与粒子颇为不同的事实。首先考虑一下粒子。让我们以棒球为例。粒子是离散的物体，在空间和时间中都有定义好的位置。粒子与粒子之间以典型的粒子方式进行相互作用，比如，彼此弹开，或分裂成更小的粒子。

而波则更多地是被看作一种现象，而不是离散的物体，在空间和时间中，波通常在相当大的范围内传播，而不是被局限在一个相对较小且定义清晰的位置上。比如，沙滩边的波浪并不是在一个特定位置，而是在一个较大的区域内传播。除此之外，波与波之间的相互作用也与粒子颇为不同。两列波有时可以通过彼此相互作用而形成更大的一列波；有时，两列波可以通过相互作用，实际上达到相互抵消的效果；还有时，两列波可以相交后分离，各自并不产生任何变化。

波和粒子的性质如此不同，两者产生的实验效果也大相径庭。因此，你可能会认为，要确定电子是粒子还是波，并不会特别困难。举个例子，假设我们有一个可以发出稳定粒子束的设备，比如漆弹枪（这个枪可以射出含有油漆的漆弹，漆弹击打之处会留下油漆印）。继续假设我们在房间外用漆弹枪对着两扇打开的窗户射出稳定的漆弹流。如果我们的问题是“着弹点将如何分布”，答案很简单，很多漆弹会击打在窗户所在的墙壁上，而那些穿过窗户的漆弹都将击打在窗户后面、房间里面的墙壁上。也就是说，在房间里面的墙壁上，我们将看到着弹点的分布与窗户所在位置一致。

同样地，暂时假设电子为粒子，我们向有两条狭缝的障碍物发射上千个电子，在双缝后面较远的地方有一张相纸 [1] 。与我们向两扇窗户发射漆弹时一样，如果电子是粒子，那么很多电子将击中障碍物，但是那些穿过双缝的电子应该会击中相纸上双缝所对应的区域。相纸可以记录电子，因此在这种情况下，我们所得到的记录看起来应该是上千个离散的粒子击中相纸上双缝所对应的位置，并在这个区域累积起来。（顺带提一句，相纸不能直接记录电子，但是当与被电子击中就会发光的荧光屏搭配使用时，相纸就相当于一个电子探测器。为了便于讨论，我们将继续认为相纸本身可以记录电子。）

如果画个示意图，这个情形看起来会像图25-1。这个示意图所展示的已经不仅仅是事实了，这一点很重要，不容忽视。具体来说，在电子与诸如相纸这样的测量设备产生相互作用之前，我们无法探测到或观察到电子，因此，图25-1中所画的电子枪和相纸之间的电子就是一种诠释，而不是任何一种直接明确的经验事实。重申一下，这是一个示意图，或者说是一种诠释，表明了如果电子是粒子，那么现实可能是怎样的。记住这一点，图25-1就是这个情形的示意图。

请注意电子在相纸上是如何累积的。这就是在电子是粒子的情况下，我们预计能看到的情形，而电子的这种累积模式，我们将称之为“粒子效应”。

接下来考虑另一种情形，假设电子是波，同时假设我们还是让电子通过同样有双缝的障碍物并落在相纸上。在这种情况下，双缝会把一列波分成两列。这两列波随后会相互作用于彼此，其结果将会是一个典型的两列波相互作用所产生的干涉模式。在这个特定的情况下，我们将看到两列波之间的相互作用在相纸上产生交替分布的亮带和暗带，亮带表示的是两列波相互叠加，而暗带则表示了两列波相互抵消。这样的干涉模式非常著名，自19世纪最初几十年开始就一直得到研究。

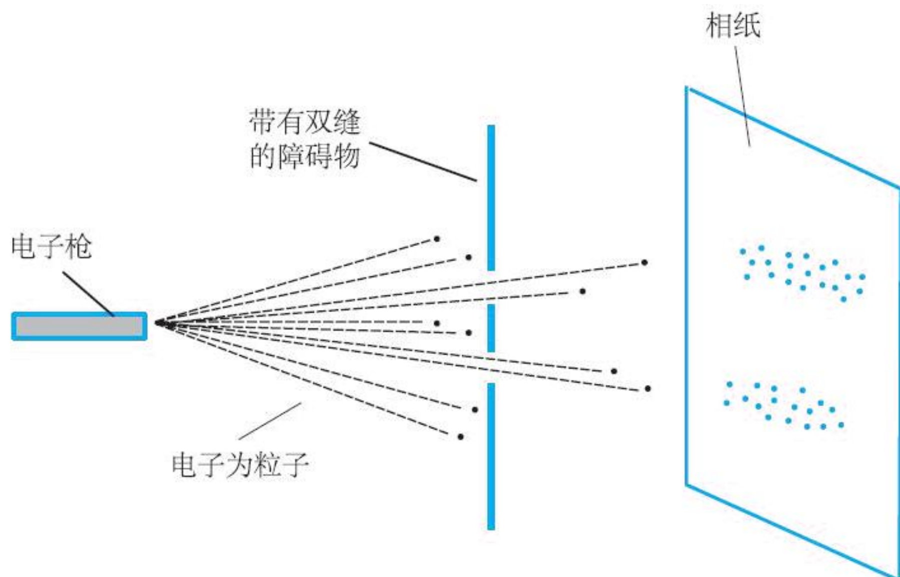


图25-1　电子为粒子

因此，如果电子是波，那么有双缝的障碍物应该带来与图25-2所示类似的效果。重申一下，我想强调的是，这样的波无法被直接观察到，所以这幅图同样是一种诠释，表明了潜在的现实可能是什么样子的。理解了这一点，图25-2所展示的就是在电子是波的情况下，我们将看到的情形。我将把图25-2称为“波效应”。

总之，如果电子是粒子，它们应该会产生一种结果，那就是“粒子效应”；如果电子是波，那么它们应该产生一种相当不同的结果，也就是“波效应”。图25-3概括出了粒子效应和波效应。

接下来，我们将描述几个有关电子的实验。从这里开始，我们将结束对诠释/现实相关命题的讨论，只简单描述事实。也就是说，在本章剩余篇幅中，我们将描述一些有关量子实体的实验设置和这些实验的结果。

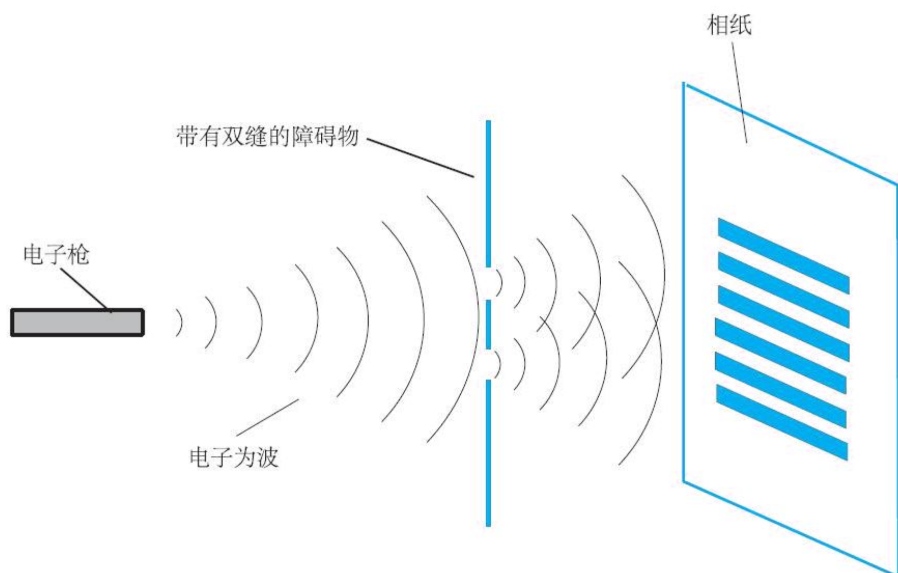


图25-2　电子为波

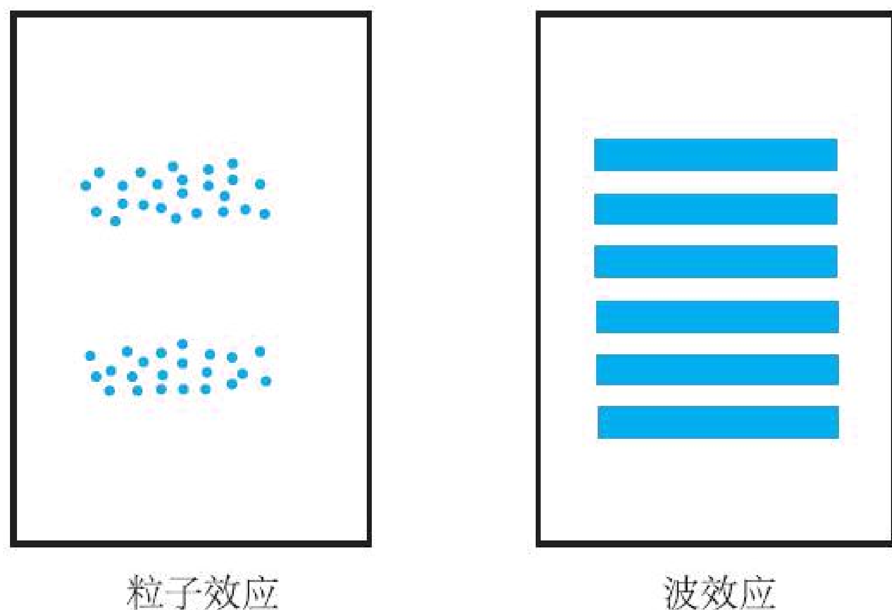


图25-3　粒子效应和波效应

四个实验

下面描述的实验是相当标准的范例，广泛用于说明量子事实某些令人迷惑的特点。实验1如前面的图25-1和图25-2所示，也就是，我们用一把电子枪，向一个有双缝的障碍物发射电子，并用相纸记录电子落点

的分布。

根据这个实验设置，结果很明显是波效应。也就是说，相纸上会出现交替出现的暗带和亮带。请再注意一下，从某个意义上说这是一个直接明确的量子事实。我们所描述的只是由观察得来的直接明确的结果：如果你设置一个有双缝的装置，就像前面所描述的那样，那么结果就将是一张有暗带和亮带交替出现的相纸。

至于实验2，让我们把第一个实验的设置稍作修改。具体来说，假设我们保留了第一个实验的全部实验设置，只是增加了一个被动电子探测器来监测每一条缝。也就是说，在上面那条缝的后面，我们放置一个电子探测器，将其称为探测器A，它将记录所有通过上面这条缝的电子。在另一条缝的旁边，我们放置第二个探测器，将其称为探测器B，它将监测下面的这条缝。整个实验设置看起来就如图25-4所示。

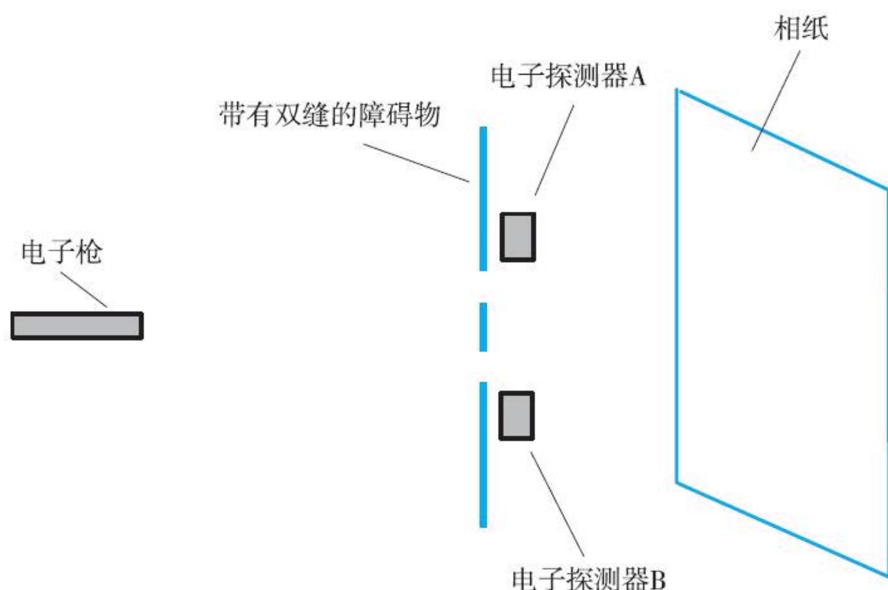


图25-4　加入了电子探测器的双缝实验

加入探测器是出于以下考虑：如果电子是波，那么波将会同时通过两条缝，因此，两个探测器应总是同时启动，绝对不可能出现只有其中一个探测器单独启动的情况；而如果电子是粒子，那么每个粒子最多只能通过两条缝中的一个，因此，每次应该只有一个探测器探测到电子，两个探测器绝不会同时启动。

回忆一下，在实验1中，结果很明确是波效应。现在我们所研究的实验完全保留了实验1的设置，只是多了探测器。由于这些探测器是被动探测器，探测器将不会干扰电子，只会提示电子是否存在。我们最初的判断会是这个实验的结果将同样是波效应。然而，实际情况恰恰相反，这个实验结果很明确是粒子效应。与此一致的是，在一个时间点，

只有一个探测器启动。探测器从来没有在双缝处同时探测到电子，也就是从来没有出现在波效应中应该出现的情况。这个结果看起来似乎表明有了探测器的存在，电子的行为模式就变成了粒子。

除此之外，假设我们在电子探测器上安装一个开关（类似电灯开关），这样我们就可以按照自己的需求打开或关闭探测器了。只要调整开关所在位置，我们就可以在波效应和粒子效应之间转换。当开关在关的位置，我们将看到波效应，在开的位置，就是粒子效应，而且只需要将开关前后一拨，就可以在两者之间进行转换，频率和速度完全由我们自己控制。

这些实验结果非常出人意料，因为很难想象这样的探测器如何可以给实验结果带来如此实质性的改变。然而，重申一下，这就是有关量子实体实验的一个事实，也就是说，如果实验设置如实验1中所述，结果是波效应。如果我们如实验2中那样加入了电子探测器，结果就是粒子效应。同时，就像前面提到过的，仅仅是打开或关闭探测器，我们就可以在波效应和粒子效应之间转换。

至于实验3，我们将使用光子枪而不再是电子枪。光子枪是一种可以发出光线“单元”的设备。在这个实验设置中，我们将使用一个分束器（实际上只是一面部分镀了银膜的镜子）、一个合束器（实际上只是一面双向镜）、两个普通镜子和一张用来记录结果的相纸。与实验2中相似，我们将加入两个光子探测器，但是在实验3中，这两个探测器将保持关闭。总之，整个实验设置看起来就如图25-5所示。

这个实验背后的核心如下：假设光子是波，那么光子枪向分束器发射一束波，分束器将这束波分成两束，其中一束波继续直行，到达图25-5中右上角的镜子，而另一束被反射后向下运动，到达图25-5中左下角的镜子。这面镜子再次将波反射，使这束波与另一束波在合束器处合并，然后到达相纸处。由于在这个情境中存在两束波，因此它们会互相干涉，并在相纸上产生波的干涉模式，也就是波效应。

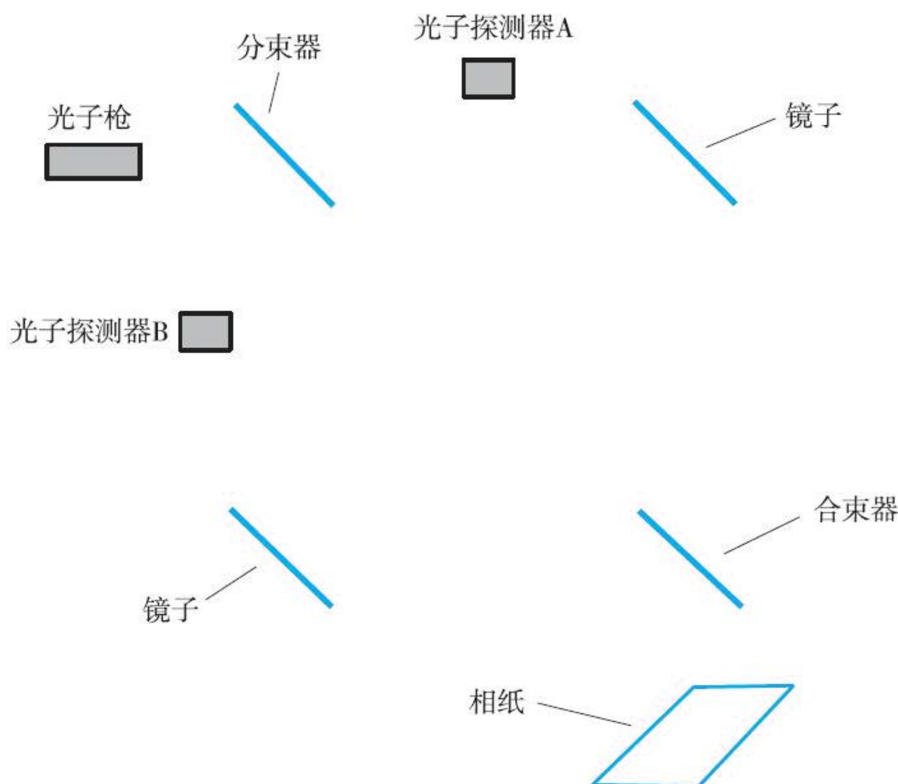


图25-5　分束器实验

另一方面，如果光子是粒子，那么光子的运动路线要么是上方/右侧路线，要么是下方/左侧路线。在这里，不存在波的干涉，因此我们将看到的应该是粒子效应。

尽管我们在示意图中包括了光子探测器，但在实验3中，这些探测器是关闭的，因此没有发挥任何作用。当我们进行这个实验时，结果很明确是波效应，仿佛光子是波。

在实验4中，我们将保留实验3的全部实验设置，同时把探测器打开。到这时，你很有可能会猜测，而且这个猜测确实是正确的，也就是如果我们打开探测器，可能会出现奇怪的现象。同样地，这些探测器很可能扮演了一个被动的角色，就像实验2中的探测器一样。同时，如果光子像前一个实验所表明的那样是波，那么我们将看到的就应该是两个探测器同时启动。毕竟，实验3意味着光子是波，因此一列波应该同时到达两个探测器。

然而，事实上，实验结果是同一时间两个探测器中只有一个启动起来，也就是当光子是粒子而不是波时，我们所应该看到的情况。尽管这个实验几乎与前一个实验一模一样，但是相纸上的结果很明确是粒子效应。

与在实验2中的情况一样，在实验4中，我们也可以在探测器上安装开关，这样仅仅通过打开或关闭探测器就可以在波效应和粒子效应之间随心转换。让我们花点时间思考一下这看起来有多奇怪。在实验3中，似乎只有光子真的是波时，我们才能得到那些实验结果。而在实验4中，似乎只有光子真的是粒子时，我们才能得到相应结果。

上面提到的只是上千个实验中的四个实验及其结果，不过这四个实验结果已经足够体现量子事实的某些奇特之处。在结束这一节之前，让我再简要讨论两点。

首先，要预测有关量子实体的实验结果，下面是一个粗略指南。如果实验中有对量子实体的探测或测量，那么被探测到的似乎是粒子，也就是说，量子实体在被探测的时候似乎是粒子。但是在没有探测或测量时，量子实体的行为模式似乎表明它们是波。因此，作为预测实验结果的粗略指南，我们关心的是对量子实体的第一次测量或探测发生在什么时候。在实验1中，第一次测量的设备是相纸。在用相纸进行测量之前，请把量子实体的行为模式当成像波一样。由于在双缝之后才有探测，因此似乎存在波的干涉，而我们所应预计看到的就是一个典型波效应的干涉模式。另一方面，在实验2中，对量子实体的第一次测量发生在探测器处，还没有机会发生波的干涉。对另外两个实验，情况也是如此。

请注意不要误解我在前一段所表达的观点。我并不是说量子实体在被探测时就真的是粒子，而在没有被探测时就真的是波。相反，对于到底发生了什么，我持不可知论主义态度，而只是提供了一个预测此类实验结果的粗略指南。当量子实体被探测时，把它们当作粒子，当没有被探测时，则把它们当作波，这样对上面提到的实验，就有了一种方法来预测实验结果。

涉及量子实体时，测量或探测似乎扮演了一个有趣的角色。举个例子，前面实验中的电子和光子探测器是检测电子或光子是否存在的测量设备。这些测量设备似乎会影响实验现象，也就是影响我们将看到波效应还是粒子效应。而这十分令人困惑。电子、光子或其他量子实体如何“知道”附近有探测器或其他测量设备？基于这一点，什么才真的能算是对量子实体的测量？这些都是很难回答的问题，构成了人们通常所说的“测量问题”。稍后，在本章中，我们将回过头来探讨这个问题，但是现在我只想让你了解一下这些关于测量的命题，以及测量在量子理论中所扮演的有趣角色。

| 量子理论数学概述 |

量子理论数学非常高深，因此，不可能在像本书这样的篇幅中进行详细介绍，而同时又确保准确、易懂。然而，尽管在这里可能无法详细介绍量子理论数学，但是要给出一个准确易懂的大致概念，也并不是特别困难。

我的策略将是分别用两种在某些方面有些重叠的方法来描述量子理论数学。首先，第一个部分将是对量子理论数学的一个概括性、描述性的概述。接下来，第二部分仍将具有一定的概括性和描述性，但其中增加了相当多的详细内容。如果你希望有更加详细的了解，在本书最后的章节注释中有一部分提供了更详细的说明。

量子理论数学的描述性概述

量子理论实际上是一种“波”数学，应与“粒子”数学相区别。对波数学和粒子数学进行一下简单介绍将会很有帮助。

在物理学中，我们发现有“粒子”数学和“波”数学。说粒子数学和波数学，我所指的是两种数学，一种是在涉及离散式物体（粒子）时所使用的，另一种是在涉及波的情形时所使用的。举个例子，如果我们把一个保龄球从房顶扔下去，这个情形中的物体就是一个离散式物体（保龄球），而且这个物体看起来受到多种力（比如重力）的影响。适用于这个情形的数学就可以算是我所说的“粒子数学”。

然而，波与粒子是不同的（某些关键不同点已经在前面讨论过了），因此适合粒子的数学并不适合涉及波的情形。不过，处理与波相关的情形，也存在完善的数学方法。在物理学中我们会用到粒子数学，也同样会用到波数学，具体来说，波数学让我们可以预测，对一个系统我们将探测到怎样的特性（比如，一列波的能量有多少），以及这个系统将如何发展变化（比如，在未来某个时间点，波峰将在哪里）。

重申一下，量子理论是一种波数学。不过，正如前面提到过的，这并没有什么不寻常之处。波数学在物理学中随处可见，量子理论只是具体呈现了物理学家们非常熟悉的一种数学方法。

在结束这一小节之前，我想探讨一个常见的问题，而反过来，这个问题又可以用来结束这个概括描述了量子理论数学的小节。总之，量子理论数学是一种波数学，它与其他类型的数学在物理学中的使用方式相同。具体来说，根据一个系统目前的状态，你可以用量子理论数学来预测会观察到这个系统怎样的特点，以及这个系统在未来会呈现怎样的状态。

如果量子理论数学是一种常见的波数学，那为什么我们经常听说量子理论是一个很不寻常的理论呢？在很多关于量子理论的文献中，你很容易得到一种感觉，那就是量子理论从某种意义上说与过去的物理学理论都有意义深远的差异。的确，从某个角度来看，我认为这种感觉是正确的。举个例子，围绕量子理论的命题迫使我们重新思考人们从古希腊时期就开始秉持的某些有关这个世界的假设。然而，量子理论数学又是一种常见的波数学，那么量子理论到底在哪个方面与其他物理学理论不同呢？

有一个差异并不大，但是值得一提，那就是量子理论数学给出的通常是概率性预言，而不是确定的预言。举个例子，如果我们用量子理论数学来预言一个电子的位置，数学计算将会告诉我们在不同位置探测到电子的可能性。相比之下，如果是针对从屋顶掉落的保龄球，数学计算将会给我们提供一个确定的预言。简言之，物理学其他分支所给出的预言通常是确定的（“将在这个方向探测到保龄球”），而量子理论所进行的预言通常都是概率性的（“在这个位置探测到电子的概率是多少”）。

不过，这只是量子理论数学与其他物理学分支的一个细微差异。我脑中想到的主要差异是关于对数学的诠释 。由于涉及诠释的命题是下一节的主要话题，在这里，我将仅进行简短讨论。

第一个重点是，物理学中使用的数学实际上只是数学。因此，数学与这个世界没有必然或内在固有的联系。这一点很容易被忽视，但要理解量子理论在哪些方面不寻常，这一点是关键。要更好地理解这一点，让我们再思考一下从屋顶落下的保龄球的例子。在用数学对下落的保龄球进行预言时，其实并不需要把所运用的数学诠释成是关于下落的物体的。所用到的方程式只是一个方程式，是一个数学计算，只是一些符号的集合，这些符号根据有关的数学规则组合在一起，并受这些规则控制。

然而，事实上，我们从某个角度对数学进行了诠释 （比如，把数学诠释成是关于掉落的保龄球的），这样的诠释一直都非常有成效、非常有用（比如，对进行预言非常有用）。除此之外，在对与下落的保龄球有关的数学进行诠释时，我们通常都或多或少从相同的角度出发。举个例子，存在一种广泛的共识，那就是方程式的这个部分代表了下落的保龄球，那个部分代表了时间，另一个部分代表了保龄球开始下落时的位置，等等。简言之，对这个方程式如何表述了或者说“描绘了”与下落的保龄球有关的情形，存在一种广泛的共识。

前面的例子涉及与下落的保龄球有关的方程式，在与此类似的情形中，我们通常会有一致的诠释，而这恰恰掩盖了我们其实是在进行诠释的事实。换句话说，我们确实是在对数学进行诠释，但是我们都从同样的角度进行诠释，而且在过去几百年间一直如此，因此，我们通常不会发现，使用数学来对这个世界进行预言需要我们把数学诠释成关于这个世界的数学。然而，事实上，我们把数学与这个世界“进行关联”的方式并不是数学内在固有的属性 ，而是我们对数学的一种诠释 。

就在前面这几段中我试图让你看到，对如何把和下落的保龄球有关的数学与这个世界联系起来，存在广泛共识（“方程式的这个部分代表了球”等）。这正是量子理论数学的主要不同之处，也就是，对如何把量子理论涉及的数学与这个世界联系起来，并不存在共识。

这里我需要谨慎一些，以避免误解。让我们思考一下用量子理论预言电子位置的例子。几乎每个人都认为其中涉及的数学确实是与这个世

界相关联的，至少在一般意义上是这样。举个例子，大多数人都认为存在电子和测量设备这样的物体，认为电子可以影响我们用来记录电子位置的测量设备，还认为量子理论数学使我们可以预言在涉及电子的某些情况下，这些测量设备会有怎样的表现。因此，一般来说，几乎所有人都认为量子理论数学确实与像电子和测量设备这样的物体联系在一起。

如果你想更进一步了解，那么量子理论数学所展示的现实其实非常怪异。我们将在有关量子理论诠释的一节中更详细地探讨它究竟从哪个角度来说是非常怪异的。在这里，我只想简单陈述如下：量子理论数学所展示的现实非常怪异，这也就是为什么人们常会听说量子理论是一个非常奇怪的理论。

作为对这一小节的总结，有一点值得再次强调，那就是量子理论数学一点都不奇怪，事实上奇怪的是对量子理论数学的诠释。顺带提一下，这里很适合回忆一下我们在本书前面（也就是关于工具主义和现实主义的一章）讨论过的一点。你完全不需要进行这样的诠释。也就是说，用工具主义态度来对待一个理论（在这里就是对待量子理论），是一种常见且值得尊敬的态度。对量子理论，工具主义态度意味着秉持如下立场：我们有量子理论数学；我们有精通使用量子理论数学的专家；量子理论数学使我们可以做出非常准确和可信的预言。谁又能要求得更多呢？

从某种程度上，对量子理论更为详细但仍为描述性的概述

正如在前面所描述的，量子理论数学是一种波数学。在这一节中，让我们首先讨论几个有关波和波数学的事实。

首先是一个相当不起眼的事实，你可能从来都没认真思考过这个事实，那就是波以群组的形式出现。举个例子，由弦乐器（比如吉他和五弦琴）产生的波，彼此之间存在相似之处，但是与管乐器（比如单簧管和萨克斯管）产生的波之间的相似点并不相同，而管乐器产生的波之间的相似点与打击乐器（比如低音鼓和邦戈鼓）产生的波之间的相似点又不相同。这就像是你跟家人之间有相似点，但是与我跟家人之间的相似点并不一样。简言之，我们可以把波按群组分类。

由于波以群组的形式出现，因此适用于波的数学同样可以按群组分类，也就不足为奇了。下面假设图25-6代表了波数学的不同群组。

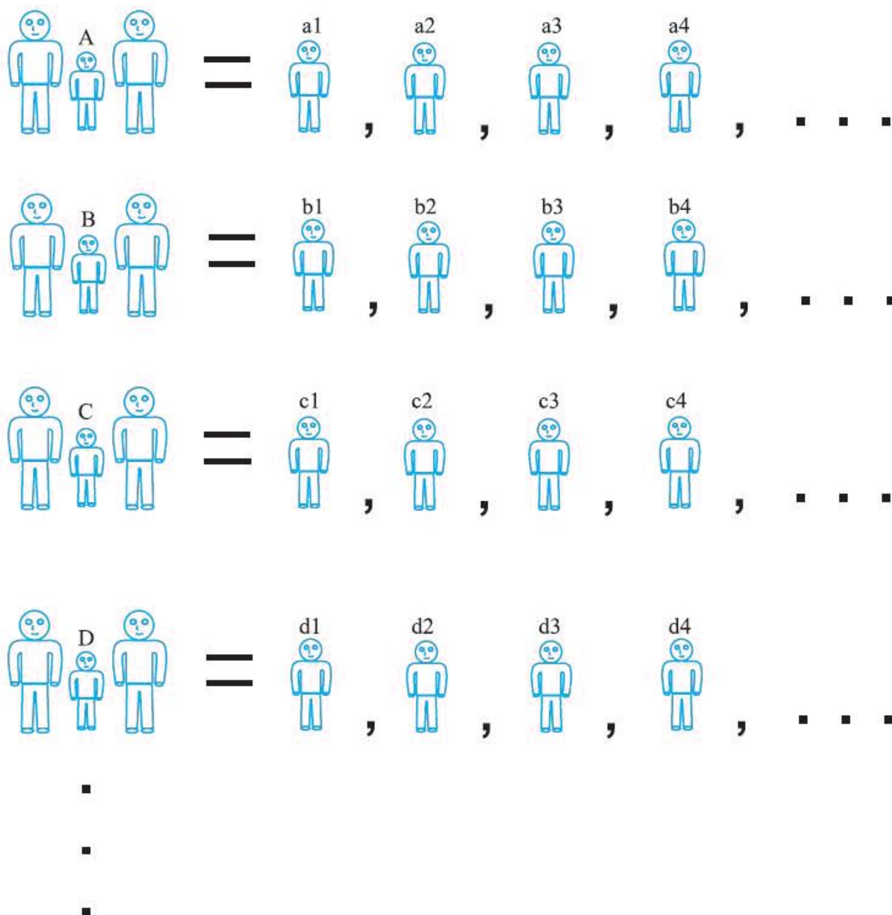


图25-6　波数学群组

在图25-6中，左边的家族图标代表了波家族，我把它们称为家族A、B、C、D等。这就像是你的姓氏代表了你的整个家族。右边多个相同的图标代表了每个群组中的各个成员，我用a1、a2、a3等来指代它们，这就像是你的名字、你父母的名字、兄弟姐妹的名字都分别代表了你家族中的一个成员。

波以群组的形式出现并不稀奇，现在，与此形成对比的是，任意特定的波都可以通过把任意波群组中合适的成员组合在一起来产生，这是个相当令人惊讶的事实。以某个特定的波为例，比如拨动吉他的一弦时产生的波。假设图25-7代表的是描述了这列波的方程式。现在，从上面的群组图谱中选择任意一个群组，比方说，我们选了群组A。在群组A中有一些成员，当它们组合在一起，就会产生我们所讨论的这列波。也就是说，把群组A中合适的成员组合在一起可以产生图25-7中的波。如果用示意图来表示，将如图25-8所示。

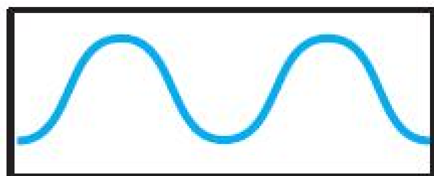


图25-7　波方程式的表达

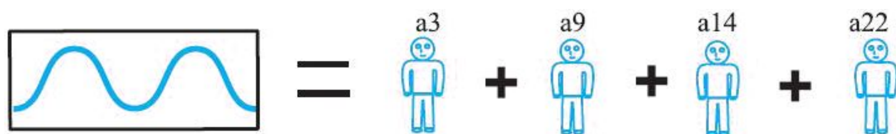


图25-8　组合群组中合适的成员来产生一列特定的波

值得注意的是，把任意其他群组中合适的成员组合在一起也可以产生同样的波方程式。举个例子，把群组C中合适的成员组合在一起也可以产生同样的波方程式，就如图25-9所示。

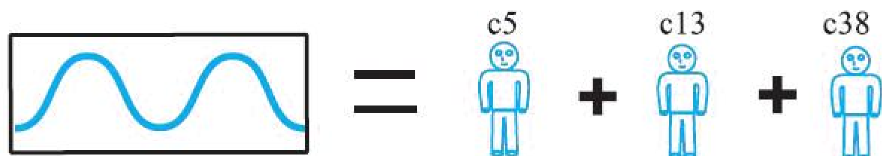


图25-9　组合另一个群组中合适的成员可以产生出同样的波

总的来说，任意一列给定的波都可以通过把任意一个给定的波群组中合适的成员组合在一起来产生。正如前面提到过的，这个关于波的事实相当不可思议，自20世纪以来已经得到广泛研究，而且证明了会产生很多结果。比如，正是因为这个事实才使得用电子设备复现音乐成为可能。（想一想，一个小小的电子设备，与吉他、鼓或者喇叭几乎没有任何相同点，但却可以产生与吉他、鼓或者喇叭几乎完全相同的声音，这难道不相当令人震惊吗？为什么会这样？其核心就是前面所讨论的关于波的这些事实。概括来说，打个比方，你的iPod耳机产生了一系列波，组成了一个波群组，因此，根据前面所讨论的关于波的事实，把耳机波群组中合适的成员组合在一起就可以产生由吉他、喇叭、人声或任意物体产生的波。）

实际上，有了这个并不稀奇的事实（也就是波以群组的形式出现）和另一个相当不可思议的事实（也就是任意一列给定的波都可以通过把任意一个给定群组中合适的成员组合在一起来产生），我们就足以更好地理解量子理论数学原理了。那么，这一小节的最后一个任务就是解释一下如何把这些关于波数学的事实与量子理论关联起来。

尽管清晰解释有关波数学的这些事实与量子理论之间的关联要花费很多功夫，但我们可以进行简略探讨。以下就是最简略的一个总结：

（1）一个量子系统的状态由某个特定的波数学群组所代表，通常其被称为这个系统的波函数。

（2）对一个量子系统可能进行的每一种测量都与某个特定的波群组相关联。

（3）对一个量子系统进行测量时，在（与这个测量相关的）波群组中找到可以组合在一起产生这个量子系统波函数的那些成员，就可以得出有关测量结果的预言。

现在，让我们探讨一下这些意味着什么，首先从对（1）的解释开始。思考一个量子系统，比如在某个特定环境中的某个特定电子。就像吉他弦产生的一列波可以由某个特定的波数学群组来表达，在某个特定环境中的电子也可以由一个波数学群组来表达。重申一下，这个波数学群组就被称为此系统的波函数。

让我们假设电子的波函数如图25-10所示。因此，理解（1）是相对直接、明确的——一个量子系统，比如在某个特定环境中的一粒电子，可以用一个波函数来表达。

理解（2）就要困难一些了，但仍然是比较直接明确的。回忆一下，波以群组的形式出现，与波相关联的数学也以群组的形式出现。在量子理论数学里，每一个这样的群组都与某个特定类型的测量有关。比如，电子的位置就是一种可能会对这个电子进行的测量。在各个波数学群组中，有一个群组将会与对位置的测量相关联，另一个群组会与对电子动量的测量相关联，还有一个群组会与对电子自旋的测量相关联……对各种我们可能对电子进行的测量，都会有一个波数学群组与之相关联。

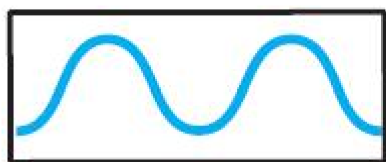
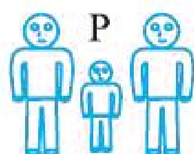


图25-10　用波函数表达的某个特定环境中一粒电子

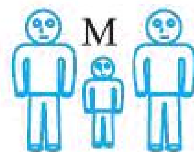
如果用示意图来表示，那么将如图25-11所示。这个示意图只列举了三种测量，但实际上对一个量子系统也许能进行无数种测量。正如图25-11所示以及前面（2）中所描述的，每一种这样的测量都会与一个特定的波群组相关联。（顺带提一下，为了便于讨论，我用P、M和S来代表图中三种测量，但应该注意的是，这些并不是物理学家用来代表位置、动量和自旋的标准缩写。）

波群组：　　　　与对下列属性的测量相关：



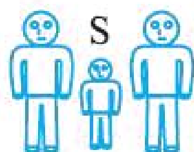


位置





动量





自旋







图25-11　与测量相关联的群组

理解（3）很有可能是这一部分中最难的了。让我们通过例子来理解。假设我们有一个在特定情境中的特定电子，我们想预言对电子位置进行测量会得到怎样的结果。为了便于讨论，假设在这个例子中，可能发现电子的位置只有两个。现在，通过（1）我们知道了有一个波函数与这粒电子相关联（如图25-12所示），通过（2）我们知道了在各个与波相关联的数学群组中，会有一个群组与对位置的测量相关联，让我们假设这个群组是群组P（如图25-13所示）。

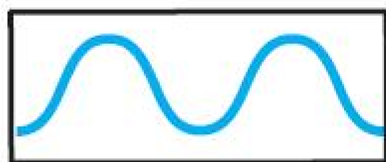


图25-12　电子的波函数

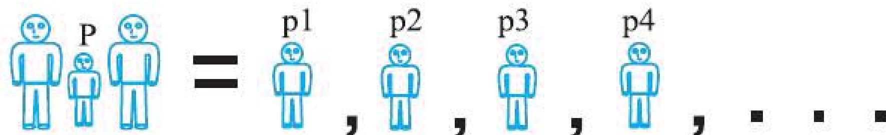


图25-13　与对位置的测量相关联的群组P

现在，回忆一下前面提到的那个不可思议的事实，也就是任意一个波群组中合适的成员都可以组合在一起来产生任意特定波函数。因此，具体来说，群组P中会有一些合适的成员，当它们组合在一起时可以产生我们假设的特定电子的波函数。让我们假设p8和p11就是这种成员。如果用示意图来表示，将如图25-14所示。

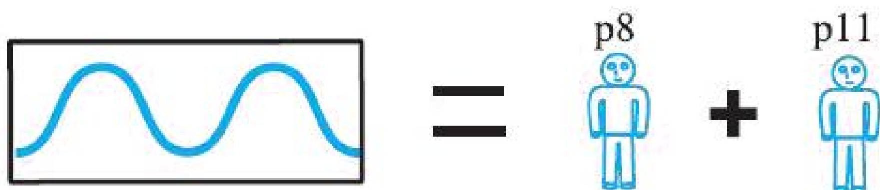


图25-14　分解成群组P成员的波函数

有了这些信息，我们就可以解释（3）了。回想一下，我们想做的是对特定电子的位置进行预言，群组P是与对电子位置的测量相关联的群组，同时p8和p11是群组P中可以组合在一起来产生代表特定电子波函数的成员。

这两个群组成员p8和p11，能使我们做出所需的预言。在这个例子中，有两个区域可能找到特定电子。事实证明，对p8进行某些直接明确而标准的数学计算，结果将是0或1，这个数字代表了在第一个区域里找到特定电子的可能性。对p11进行同样的数学计算，结果也将是0或1，而这个数字则代表了在第二个区域里找到特定电子的可能性。这就是通过p8和p11对电子位置进行预言的方式。（虽然前面提到的数学计算并不是理解这段讨论的关键，不过如果你对此感兴趣，下面是对此的概述：p8是一个与某列特定波相关联的波数学群组。每一列波都有振幅，因此p8也有一个与之相关联的振幅。这个数学计算涉及p8振幅的平方。在这个计算中，所涉及的数学性质决定了其结果将总是为0或1。正如前面提到过的，这个数字代表了在第一个区域里找到特定电子的可能性。对p11，计算也是类似的，也就是计算出与p11相关联的振幅的平方，所得数字就是在第二个区域里找到特定电子的可能性。）

因此，（1）（2）和（3）描述了量子理论数学如何用于预言对量子系统进行测量时可能观察到的结果出现的概率。总结一下：（1）描述的是一个量子系统是由这个系统的波函数所代表的；（2）描述的是波群组与不同种类的测量相关联；（3）描述的是群组中可以组合在一起产生波函数的成员让我们可以对与这个波群组相关联的测量结果进行

预言。

状态随时间的演变。 在结束这一节前，让我再简要介绍一下状态随时间的演变。到目前为止，我们所讨论的只是在一个给定状态下对一个量子系统进行测量的结果。我们在前面讨论过，物理学所关心的通常并不只是在某个特定时间测量的结果，还有在未来可能进行的测量的结果。让我们回到从屋顶落下的保龄球的例子，广为人们所熟悉的数学计算让我们可以兼顾这两个方面，也就是说，我们用人们熟知的方程式进行计算，不仅可以预言此时测量的结果，还可以预言未来可能进行的测量的结果。

在量子理论中，一个系统随时间的演变，可以用薛定谔方程 来预言。回忆一下前面提到的（1），也就是一个系统当前的状态由这个系统的波函数所表达。非常概括地说，通过薛定谔方程，我们可以从表达当前系统状态的波函数出发，计算出这个系统未来将是什么状态。

我们对量子理论数学的概述可以用薛定谔方程结束。正如前面讨论过的，实际上，量子理论数学所扮演的角色与几百年来我们在物理学中使用的数学是相同的。具体来说，量子理论数学，就像（1）（2）和（3）所概括的，使我们可以预言在某个特定时间进行的测量结果，而通过薛定谔方程，我们可以预言系统在未来将处于怎样的状态。

| 量子理论的诠释 |

关于量子理论最有争议的命题出现在对量子理论的诠释方面。重申一下，诠释命题更多的是哲学性命题，很大程度上与“在事实和数学背后是怎样的现实”的问题有关。我们在这一节的主要目标是探讨这个诠释命题。让我们从一些背景材料开始。

背景讨论

假设我们有一个实验设置，与前面讨论过的那些实验相比，差别并不是特别大。具体来说，假设有一个光子枪可以发射出单个的光子，我们向分束器，也就是一块部分镀了银膜的镜子，发射光子。我们将在分束器后面放置两个光子探测器，为了便于讨论，让我们假设光子探测器只要探测到一个光子就会发出“哔”的声音。这个实验设置如图25-15所示。

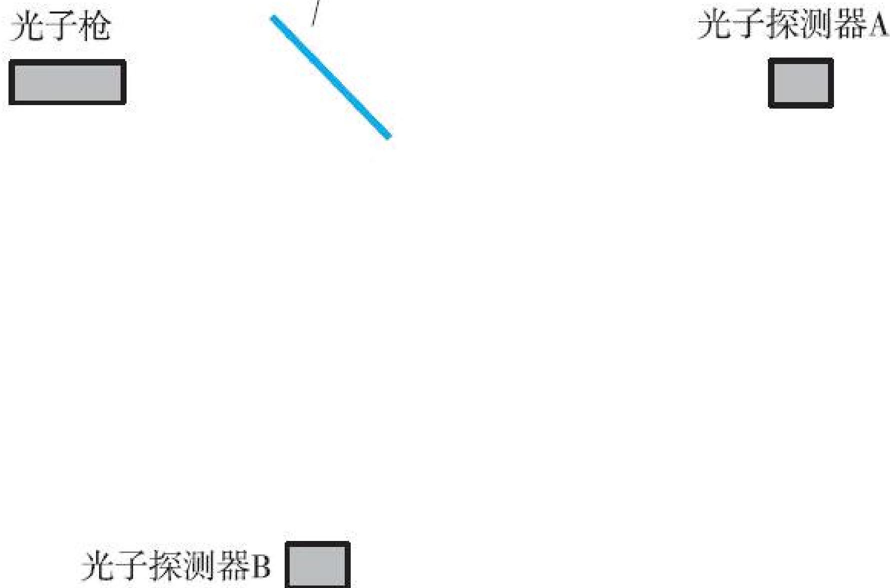


图25-15　分束器实验设置

假设我们有一个按钮，每次按下按钮，就会向分束器发射一个光子。关于这个情境的量子事实，不存在任何疑问，也就是每次我们按下按钮，探测器A和探测器B中的一个就会探测到光子，但两个探测器永远不会同时探测到光子。除此之外，如果我们在一段时间内持续发射并探测光子，那么发射出的光子，在其中50%的时间内将会被探测器A探测到，在另外50%的时间内则会被探测器B探测到。换句话说，其间50%的时间内是探测器A发出“哔”声，另外50%的时间内是探测器B发出“哔”声，但是两个探测器绝对不会同时发出“哔”声。

同样地，关于量子理论数学做出的预言，也不存在疑问。量子理论数学的预言是，每次按下按钮，探测器A和探测器B各有50%的概率探测到光子。简言之，预言与事实是一致的。

这再次说明了，关于事实和数学本身都不存在疑问。然而，接下来请思考一下某些与诠释 相关的命题。

首先，回忆一下，在本章前面的部分，我们讨论过对数学的诠释。具体来说，请再想想那个从建筑物屋顶落下的保龄球的例子。这个例子中有一个非常普通的物体，也就是保龄球，而这个例子所涉及的数学，则很自然地被诠释为代表了这个保龄球。在我们看来，这个保龄球似乎是在很短的一段时间内从通常的三维空间里下落，同样地，这里所涉及的数学也很自然地被诠释为代表了通常的三维空间和通常的时间。这个保龄球似乎是从某种介质中下落，而这种介质至少产生了某些阻力，也

就是说，保龄球在空气中下落时，空气从某种程度上使保龄球下落的速度变慢了，同样地，与此相关的数学也被自然地诠释为代表了空气的阻力。最后，这个保龄球似乎受到一些力的作用，比如重力作用，同样地，这里所涉及的数学被自然地诠释为代表了这些作用力。

简言之，在从屋顶下落的保龄球的例子中，所涉及的数学与直接明确的诠释相匹配。而这个诠释与我们认为这个例子所涉及的现实是完美一致的。

如果我们试图用同样直接明确的方式对量子理论数学进行诠释，会得到怎样的结果？再思考一下图25-15所示的实验设置。假设我们按了一下按钮，发射了一粒光子，相应的量子理论数学会如何表达呢？

按下按钮后，整个系统的状态由一个波函数来代表。在前面一小节我们讨论过了，这个状态会根据薛定谔方程式随时间发生变化。薛定谔方程式将为我们提供在任意时间点上对这个系统状态的表达。因此，假设我们研究的是在其中任意一个探测器探测到光子之前的系统状态。

就在任意一个探测器探测到光子之前，数学代表的是在态“叠加”状态下的电子，在叠加的态中，有一个态代表的是电子作为一列波向探测器A运动，另一个态代表的则是光子作为一列波向探测器B运动。然而，回忆一下，两个探测器绝不会同时发出“哔”声。事实上，同一时刻，只有其中一个探测器（要么是A，要么是B）会发出“哔”声。假设在这个例子中，探测器A响了，说明它探测到了一粒光子。这本身并不是特别令人困惑，毕竟，在叠加的两个态中，其中一个似乎代表的就是有一列波向探测器A运动。但是，探测器B呢？回忆一下，在叠加的两个态中，有一个代表的是一列波向探测器B运动，所以这个态发生了什么？为什么探测器B没有同样发出“哔”声？至少，如果我们试图用尽可能直接明确的方式来诠释相关的数学，那么那条波似乎是向探测器B运动的，现在这条波发生了什么？

这个例子说明了通常所说的测量问题 的某些方面。测量问题是与量子理论诠释有关的最令人费解的命题之一，也会在这一节的多个地方出现。在接下来的几段中，我将试图概述一下测量问题所涉及的某些命题和问题。不过，在这一节余下的篇幅中，我会鼓励你始终留意围绕在测量周围的有趣命题和问题。

作为热身，我想讨论两点。第一，测量问题通常一开始看起来并没有多大问题。换句话说，要体会到测量问题，可以说通常是需要花些时间的。然而，你对测量问题的思考越多，就越会发现它们很让人困惑。第二，测量问题可以用很多在某些方面多少有些不同的方法来看待。从某种意义上说，这些不同的方法是同一个问题的不同面貌，但是每个方法所强调的都是这些令人困惑的命题的不同方面。

一般来说，与测量问题有关的一个事实是，如果我们试图用一个相

对直接明确的方法来诠释量子理论数学，那么当对量子系统进行测量时，就会出现某些似乎非常奇怪、非常反直觉的情况。量子理论数学通常表达的是处于态叠加状态的系统。比如，在上面的例子中，当我们进行测量时，会观察到探测器A和探测器B中有一个发出了“哔”声。不管是哪个探测器发出了声音，都会带来一个问题，那就是另一个态发生了什么？测量使叠加的两个态“坍缩”或“减少”（这是常用的两个术语）成一个单一状态了吗？如果是这样，一个测量的动作如何能有这样的效果？就此而言，测量设备是什么？测量设备和非测量设备有怎样的区别？毕竟，在我们认为算是测量的情形中所发生的物理作用，与在我们不认为算是测量的情形中所发生的物理作用相比，似乎并没有什么根本上的不同。那么，如何可以在测量设备和非测量设备之间，以及测量和非测量之间找到原则性差异？

对这些问题，并不存在已得到一致认可的答案。重申一下，当进行测量时，似乎会发生某些奇怪的情况，对如何诠释所发生的情况，仍存在争议。后面我们将会探讨某些答案，不过如果首先介绍一下薛定谔的猫思想实验，将会更易于讨论。

根据到目前为止我们已进行的讨论，你可能会忍不住认为量子的奇怪特性只会存在于微观实体里，比如光子、电子和类似的实体，而不会存在于你、我和我们的房子、汽车等所存在的宏观世界里。为了表明情况并不是那么简单，让我们思考一下薛定谔的猫，这是一只非常著名的小动物，在大多数有关量子理论的讨论中都能找到这只小动物。与前面提到的在态叠加状态下的实验相比，薛定谔的猫并没有带来特别多的新问题，但是这只猫确实凸显了这个状态的古怪之处，同时表明这些古怪之处并不一定仅限于微观层面。薛定谔的猫还有助于说明我们将在后面讨论的诠释的某些特点。

薛定谔的猫　在20世纪30年代中期，新兴量子理论的某些奇怪之处变得明显起来，薛定谔进行了一个思想实验，进一步做了说明。顺带解释一下，思想实验，如其名字所表达的，是一个要求我们全程进行思考的实验，而不需要我们进行实际操作。

薛定谔让我们想象，在一个密封的盒子里有一只猫，同时还有一个微弱的放射源。具体来说，这个放射源在一小时内，释放出一粒放射性粒子的概率是50%。如果放射源释放了一粒放射性粒子，这个粒子将会触发一个探测器，而这个探测器在触发之后会打开一小瓶毒药，这种毒药可以毒死盒子里的猫。

顺带解释一下，提到量子实体比如光子、电子、放射性粒子等时，通常都用“粒子”这个词来指代。然而，通过前一小节的讨论，我们应当已经清楚，在提到量子实体时，不管用“粒子”还是“波”都不是完全正确的。我将继续用“粒子”这个词，因为这是标准的做法，但是这并不能诠释为我对“量子实体是否其实是粒子而不是波”这一问题的回答。

当然，薛定谔的用意肯定不是要虐待猫，重申一下，这是一个思想实验，而不是一个想要实际实施的实验（如果你思考一下这个实验，就会发现它也不会产生任何有趣的数据）。实际上，薛定谔的目的是把微观层面的古怪之处与宏观层面的事件联系起来。同时，薛定谔也试图提出一个论据来反驳对量子理论的一种特定诠释，接下来我们将对此进行讨论。

要更好地理解薛定谔的猫思想实验，可以思考一下与之稍有不同的一个实验，其中，实验设置进行了一些修改，如图25-15所示。这个实验设置所带来的结果与薛定谔最初论文中的实验相同，但是使用这个修改后的实验设置将会简化我们的讨论。

想象我们把图25-15所示的实验设置放入一个不透明的大盒子。与此同时，我们还将把一只猫放进盒子里。我们会同时把光子探测器A与一小瓶毒药连接好，但并不连接探测器B，就像薛定谔最初的思想实验里一样。也就是说，如果探测器A探测到一粒光子，就会打开毒药瓶，其中毒药会使猫中毒致死。另一方面，如果探测器B探测到了一粒光子，那么什么都不会发生。整个实验设置就会如图25-16所示。

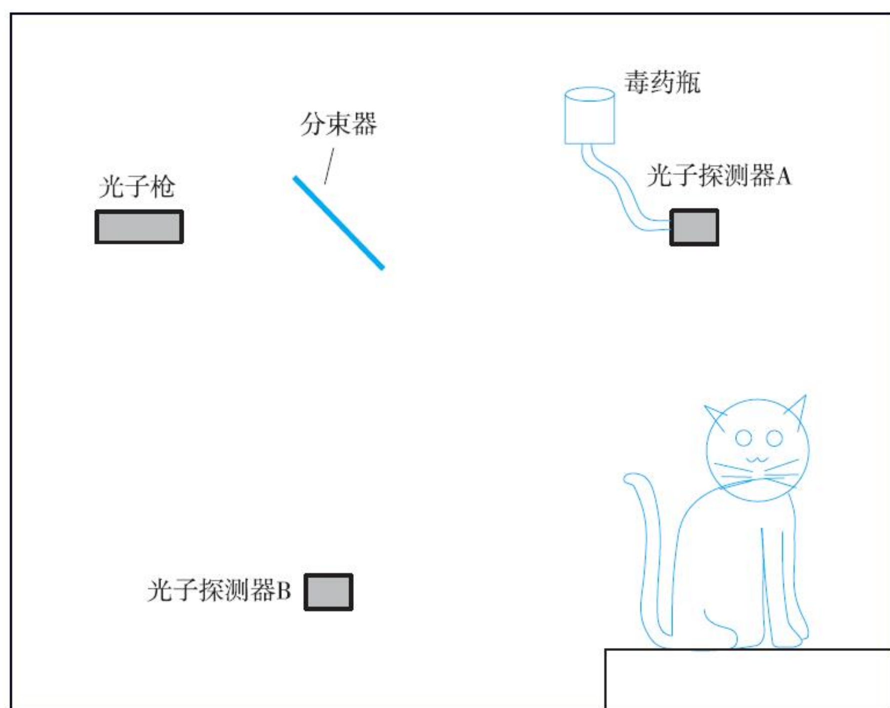


图25-16　薛定谔的猫

假设整个实验设置，包括猫和其他一切，都处在一个密封的盒子里，因此我们无法看到盒子里面发生了什么，不能确定两个探测器中的一个是否探测到了光子，也不能听到盒子里的任何声音。然而，我们把

控制光子枪向外释放光子的按钮留在了盒子外面。

现在，基于这个实验设置，假设我们按了一下按钮并在几秒钟之后开始思考整个情形，这样可以使光子有足够的时间到达探测器所在位置。回忆一下，状态随时间的演变遵循薛定谔方程式，而薛定谔方程式代表的是叠加的态。在这个情境中，涉及的两个状态之一是探测器A探测到光子，另一个状态是探测器B探测到光子。但是，同时请回想一下，如果探测器A探测到光子，那么毒药瓶里的毒药将会释放出来，结果是猫被毒死。另一方面，如果是探测器B探测到了光子，那么猫就会安然无恙。所以，现在态叠加似乎涉及这样两个状态：一个是猫死了，另一个是猫安然无恙。换句话说，如果我们想知道盒子里面到底发生了什么，量子理论似乎表达的是猫处于死猫和活猫两个态相叠加的状态。

同样地，与前面图25-15中所讨论的光子态叠加相比，这并没有原则性差异。然而，薛定谔却以此将微观层面的古怪之处转移到了宏观层面。

在结束这一小节之前，值得一提的是，薛定谔试图表明，量子理论数学一定是缺了些什么。他认为“猫不能处于一种生死叠加的状态”是一个基本事实，因此量子理论数学肯定是忽略了某些因素。

薛定谔试图修改量子理论，从而把他认为通过猫实验而展现的缺失因素补全。他的努力最终形成了对量子理论的一种诠释，通常被称为隐变量 诠释。也就是说，这种诠释背后的关键点是，量子理论没有抓住现实真正的样子，就如前面所描述的，因此需要在理论中加入某些因素（也就是所谓的隐变量），从而使其更好地与我们对现实的直觉保持一致。

与隐变量诠释形成对比的是通常所说的标准诠释 ，或者哥本哈根诠释 。这两个名字都相当有误导性，因为并不存在一个单一的、完全界定好的诠释作为标准诠释或者哥本哈根诠释。事实上，标准诠释更像是通常对量子理论进行诠释的一个角度，而在这个角度之内存在多个变形。接下来我们将探讨其中某些变形。

标准诠释（哥本哈根诠释）的变形

与隐变量诠释不同，各种标准诠释的支持者都认为量子理论是一个完整的理论，不需要“隐变量”，也不需要增加其他内容。然而事实上，即使是这些支持者，也在前面所描述的数学基础上加入了至少一个因素。总的来说，这些支持者所加入的因素就是通常所说的投影假设 。投影假设控制的是通常所说的波函数的坍缩或衰减。这其中的关键点是，在测量之前，量子实体都被表达为处于态叠加的状态中。举个例子，在测量之前，前述实验中释放的光子由一个波函数所表达，而这个波函数本身是由一个态叠加的状态组成的。然而，在测量时，叠加的两个状态坍缩成了一个新的状态，由一个新的波函数来表达。这个坍缩在数学上

就遵循投影假设，结果就是前面提到的新的波函数。在这个例子中，这个新的波函数所表达的要么是探测器A探测到的一粒电子，要么是探测器B探测到的一粒电子。因此，直到新的测量发生之前，这个新的波函数都遵循薛定谔方程式进行演变。

毫无疑问，前面所描述的数学，以及波函数的坍缩或者投影假设，与我们的观察结果非常一致。也就是说，量子理论所做出的预言是毋庸置疑的，而且在过去70年间一直如此。然而，如果我们试图展示到底发生了什么，波函数的坍缩当然是很难展示的。

假设我们向标准诠释的支持者提问，“到底发生了什么”。举个例子，在图25-15所示的实验中，就在测量发生之前的时刻，电子真正的位置在哪里？就在测量即将发生之时，电子真的是存在于两个通道里的波吗？就在测量发生之时，这两列波之中的一列就会同时消失吗？

标准诠释的支持者通常认为像这样的问题是没有答案的。比如，我们说不出测量之前电子真正所在之处。如果你的问题是关于电子的其他属性，比如电子的动量、自旋等，情况同样如此。总的来说，我们说不出电子在测量发生之前具备什么样的属性。

重点同时也是理解我们在这里所讨论内容的一个关键点就是，根据标准诠释，我们之所以说不出电子在测量之前具有什么样的属性，并不仅仅是因为我们不知道这些属性。事实上，我们说不出这些属性，是因为这些属性在测量之前并不存在。也就是说，并没有哪个物体的属性是在对这个属性进行测量之前就确定存在的，因此也就不存在相关的事实。

这是一个非常反直觉的观点，因此值得花点时间来澄清一下。假设我告诉你我口袋里有一些硬币。设想你并不知道具体有多少个硬币，但是我相信你已经确信我口袋里有一定数量的硬币。可能是两个、三个或八个，不过不管实际有几个，你无疑都相信关于我口袋里有多少硬币，存在一个确定、独立的事实。

这就是日常生活中信息缺失的一个例子。你说不出我口袋中有多少硬币，因为你完全不知道有多少。这并不是标准诠释中所涉及的那种信息缺失。根据标准诠释，不存在需要了解的信息。在测量之前，电子没有确定的位置，也没有确定的自旋，等等。

标准诠释的支持者并不是否认现实的存在。也就是说，存在一个现实，存在量子实体，有一粒电子就在“那里”。然而，那粒电子，以及其他量子实体，在被测量之前，并不具有确定的属性。

（为准确起见，我必须指出，每个人，包括标准诠释的支持者，都认为量子实体具有少量不受测量影响的属性。这些属性，比如质量，通常都被称为“静态属性”。然而，根据标准诠释，除了这样少数几个静态属性，量子实体的其余属性在测量之前都不存在。）

简言之，尽管存在一个现实，但组成这个现实的并不是在测量之前就具有某些确定属性的量子实体。前面硬币的例子说明了日常生活中的信息缺失，与此相比，标准诠释支持者所描述的信息缺失则更为严重。

在这个对标准诠释的概述性描述中，存在几个可能的变量。我们已经注意到，根据标准诠释，量子实体在测量发生之前不具有属性。然而，关于以下两个问题，我们却几乎没有涉及，那就是：①什么算是量子实体？②什么算是测量？让我们花点时间来思考一下这两个问题。

关于什么算是量子实体，到目前为止，我们举过的例子包括电子、光子、放射衰变释放出的粒子，以及与此类似的东西。大家都认为这些是量子实体。

但是，只有这些基础性粒子才是量子实体吗？请记住，可以说所有物体都是由这些基本实体构成的，别无他物。因此，完全可以说“量子实体”所指的实际上应该是一切物体。也就是说，所有物体都应该被当作是量子实体。无论如何，请注意，对“什么算是量子实体”的问题，答案既不简单也非没有争议，而且这个问题并不只有一个合理答案。

关于什么算是测量，情况是相似的。这是一个具有重要意义的问题，特别是对标准诠释的支持者来说。请注意，根据标准诠释，波函数的坍缩会在测量发生时出现。然而，什么算是测量？这个问题有很多种答案，要理解这一点，可以思考一下薛定谔的猫的实验。第一个可以算作是测量的事件是什么时候发生的？是发生在当一粒电子出现、两个探测器中的一个进入到与此相关的物理作用中时吗？一开始，你可能倾向于说那就是第一个测量。然而，不要忘了，与那些探测器相关的过程只是物理过程，与盒子里发生的其他物理过程一样，都是物理过程。举个例子，光子与分束器之间有物理作用，但是我们通常不把这个物理作用算作测量。然而，当光子与我们所说的“探测器”发生相互作用时，这其中的物理过程跟光子与分束器之间的物理过程相比，并没有什么特别不同之处。因此，为什么光子与探测器之间的相互作用应该算作测量，答案一点都不明朗。换句话说，那些光子探测器本身似乎并没有什么特别之处，那么，为什么它们可以导致波函数的坍缩？探测器所经历的过程恰好对你我来说特别有趣，因为我们很可能对是否有一粒光子存在的问题很感兴趣，然而除了对像我们这样的观察者来说有吸引力，那些探测器并不存在什么特别之处。因此，光子探测器是否应该被视为首个测量设备，答案也还远未清晰。

那么猫的听觉系统又如何呢？也许不管是探测器A还是探测器B发出了“哔”声，猫都听到了这个声音，而且也许猫对“哔”声的这种感知算作首次测量。另一方面，导致猫感知到“哔”声的物理作用与盒子里发生的其他上百万个（可能更多）物理作用并没有什么原则性区别。因此，同样地，为什么这些特定的相互作用算作“测量”而其他的不算？也许，这些相互作用不应该被算作测量。盒子里也许其实是下面这个听起来有些古怪的情形，也就是猫本身处于态叠加的状态中，其中一个态是听到探

测器A发出的“哔”声，另一个态是听到探测器B发出的“哔”声，很快这个态叠加就变成了另一个态叠加，其中一个态是死猫，另一个态是活猫。

最后，当我们打开盒子、看探测器读数并检查猫的生死时，是否才发生了首次测量？我们凭直觉倾向于认为波函数此时肯定已经坍缩了，因为我们并没有看到处于生死叠加中的猫（然而，后面我们会看到，并不是所有对量子理论的诠释都认同这一点）。不过，坍缩是否仅发生在这个时刻？人类的意识是否是关键的测量？

总的来说，对于“什么算是量子实体”和“什么算是测量”，并不存在唯一且毫无争议的答案。根据如何回答这些问题，你可以得到标准诠释的不同版本。由于所有标准诠释的变形版本都认为从某种意义上说，现实依赖于测量，我将用“现实依赖于测量”来命名这些变形版本，并把它们分为温和、适度和激进三个等级。接下来，我们将开始对标准诠释或者说哥本哈根诠释的这些变形进行讨论。

现实依赖于测量的温和派观点　根据这个温和派版本，“量子实体”指的只是最基本的粒子，比如电子、中子、质子、种类众多的亚原子粒子、光子和放射衰减过程中释放的粒子，等等。也就是说，能算作量子实体的只有宇宙最基本的“物质”，而且只有这个最基本层面在测量发生之前不存在确定的属性。

这里，让我再重复一下前面的这一点。这个版本以及其他版本的支持者并不是说在测量之前什么都不存在，然后测量使现实从无到有。事实上，他们的观点是，存在一个独立于测量的现实，然而，考虑到宇宙最基本的组成部分，这个现实在很大程度上是不确定的现实。回到我口袋里硬币的例子，这就好比说，对，我的口袋里有硬币，但是硬币数量并不确定，硬币的形状和大小也不确定。也就是说，存在一个由硬币组成的现实，但是这个现实不具备任何确定的属性。

把这个类比运用到量子层面，“现实依赖于测量”的温和派支持者认为，存在一个由电子、光子等类似物质组成的现实，但是这个现实从很大程度上说是一个不确定的现实。电子既不在这里也不在那里，也不在任何地方，它们既没有这种自旋也没有那种自旋，等等，这种状态会一直持续到关于这些属性的测量发生之时。只有在测量时，这些实体才能获得确定的属性。

至于“什么算是测量设备”，这个变形版本给出的答案非常宽泛。举个例子，在薛定谔的猫的情境中，测量设备包括光子探测器、猫的听觉系统和我们打开盒子观察探测器及猫的行为。

至于薛定谔的猫的例子，请注意，根据这个变形版本的解释，首次测量发生在光子抵达探测器的时候。这使波函数发生了坍缩，探测器A和探测器B之中有一个探测到了光子。基于这种情况，毒药瓶要么被打开，要么没有打开。因此，根据这个诠释，猫绝不可能处于生死叠加的

情况中。

简言之，根据“现实依赖于测量”的温和派诠释，只有基本粒子，比如电子、光子和放射衰减过程中释放出的粒子，等等，可以处于态叠加状态。而且几乎任何一种测量都足以使波函数坍缩。粗略地说，仍存在大量有关量子的古怪之处，但是这些古怪之处仅存在于微观层面。

现实依赖于测量的适度派观点　前面所讨论的“现实依赖于测量”温和派认为只有基本粒子才算是量子实体。然而，大概所有物体都是由这样的粒子所组成的。比如，你面前桌子上的咖啡杯实际上只是由这些基本实体组成。如果咖啡杯只是由量子实体所组成，那么完全可以说咖啡杯本身同样应该算作是量子实体，尽管与基本粒子相比，它更大也更为复杂。

如果我们宽泛地回答“什么算是量子实体”，也就是说，我们把所有物体都算作量子实体，那么几乎任何物体原则上都可以处于态叠加的状态。因此，根据这个诠释，量子的某些古怪之处就上升到了宏观层面。

然而，对“什么算是测量”的问题，“现实依赖于测量”的适度派诠释采取了一种宽泛的态度，这与“现实依赖于测量”的温和派诠释相同。因此，尽管几乎任何物体原则上都可以处于态叠加的状态，但测量通常足以使这样的态叠加早在我们或任意其他生物有所体会之前就产生坍缩。让我们把薛定谔的猫作为一个实际的例子，根据这个诠释，光子探测器和猫都被算作是量子实体，因此原则上可以处于态叠加的状态。然而，考虑到这个流派对“什么算是测量”问题所持的宽泛态度，光子探测器足以在猫生死叠加的状态出现之前就使波函数坍缩。因此，尽管宏观世界里的物体，比如你、我、猫等，原则上都可以处于态叠加的状态，但实际上，波函数会在我们体会到这样一种态叠加状态之前就发生坍缩。

现实依赖于测量的激进派观点（现实依赖于意识）　假设为与前面提到的温和派观点保持一致，对“什么算是量子实体”的问题，我们采取一种宽泛态度，也就是任何物体都算量子实体。然而，假设对“什么算是测量”的问题，我们则采取了一种不那么宽泛的态度。具体来说，假设我们认为只有人类的意识才算是真正的测量。举个例子，在薛定谔的猫的情境中，只有当我们打开盒子、检查探测器和猫的时候，第一次测量才发生。

这是一个更为激进的版本，因为在这个诠释中，只有出现了人类的观察，波函数才发生坍缩。因此，任何情境在未经观察时都处于态叠加的状态，比如，猫可以处于生死叠加的状态，等等。简言之，整个世界在未经人类观察时，并不是由确定的状态组成的。未经观察的物体并不是确定地位于某个特定位置，等等。

为什么会有人选择这种激进的态度来看待世界？促使他们这么做的因素是什么？其实这背后真正的问题是——“什么算是测量？”让我们再

思考一下薛定谔的猫的情境。正如在前面讨论过的，在我们所认为的测量设备上发生的物理过程同其他物理过程相比，似乎类型都是相同的。因此，要理解这样一个过程如何可以使波函数坍缩是非常困难的。如果你认为人类意识与其他过程的类型不同，而且对此比较深信不疑，那么在一系列连续发生的事件中，也就是从一粒光子的释放，到我们打开盒子并检查里面的东西，由人类意识进行的观察确实是唯一一个与其他事件不同类型的事件。因此，这里自然就是波函数发生坍缩的时点，或者至少对某些这种诠释的支持者来说，似乎如此。

隐变量诠释

总的来说，隐变量诠释的基本观点是，到目前为止我们所探讨的数学组成了一个不完整的理论。用爱因斯坦的话来说，这个数学漏掉的是"现实因素"。根据这个诠释，需要做的是对我们到目前为止所讨论的理论进行补充，补充进来的内容就是"隐变量"，也就是说，隐变量是一些额外因素，可以填补现有量子理论已被发现的不完整之处。隐变量理论有两种主要版本。我们将从爱因斯坦的版本开始。

爱因斯坦实在论　我将其称为"爱因斯坦实在论"的量子理论诠释是一种常识性诠释，也就是说，这种诠释试图在量子理论与我们对世界的通常认识之间进行调和。

我必须从最开始就强调，爱因斯坦的诠释，或者说至少是这个诠释中对爱因斯坦来说最重要的关键因素，已经无法与新近发现的量子事实保持一致。正如前面所提到的，任何量子理论诠释都必须尊重量子事实，而近些年来出现了新的事实，爱因斯坦的诠释不再与这些事实保持一致。爱因斯坦在这些事实出现之前就已经去世，因此假想一下（尽管我们绝不可能真的知道）爱因斯坦会怎样应对这些新事实，这将会非常有趣。

简言之，爱因斯坦的观点是，在标准诠释中处于核心地位的那种信息缺失是不存在的。回忆一下，根据标准诠释，量子实体在被测量之前都不具有确定的属性。同样地，根据标准诠释，不仅仅是我们不知道这些属性，实际上，量子实体根本就不具有这些属性。爱因斯坦认为，量子实体在测量之前肯定具有确定的属性。这同样是一个常识性观点。想想关于我口袋里硬币的例子，常识告诉我们硬币的数量肯定是确定的，就算我们不知道具体数量是多少。同样地，爱因斯坦也认为，常识告诉我们量子实体肯定一直都具有其属性，即使是在对这些属性进行测量之前。

然而，量子理论数学所表达的并不是量子实体在测量发生之前就具有属性。正是基于这一点，爱因斯坦认为量子理论数学一定是不完整的，存在量子理论没有抓住的"现实因素"，比如在测量之前就具有确定属性的量子实体。因此，爱因斯坦认为，会有一个新的理论来取代量子理论，这个新的理论不仅可以做到量子理论所做的，还将包含现有量子

理论中不存在的、可以反映现实因素的“隐变量”。对于应如何对量子理论进行补充，爱因斯坦并没有特别明确的建议，但是他确信量子理论需要得到补充。

我们将在下一章中进一步讨论爱因斯坦的观点，以及让这个观点遇到问题的新事实。在这里我们只是重申一下，总的来说，爱因斯坦的诠释是一种常识性诠释。除此之外，这个诠释的某些关键因素（我们将在下一章中探讨）已不再与已知的事实保持一致。因此，爱因斯坦的诠释，包括其他类似诠释，只要是与某些关于宇宙如何运转的广为认可的观点相一致，都已经站不住脚了。

玻姆实在论　大卫·玻姆在20世纪40年代末期到50年代初期对量子理论数学进行了修正。我们将简要探讨玻姆观点中的某些关键方面。

玻姆认为量子实体是粒子，受通常所说的引导波的作用影响。值得注意的是，玻姆数学与标准数学似乎做出了相同的预言。因此，两种方法之间并不存在可实际测得的差异。

然而，玻姆版本所展示的潜在现实却与量子理论标准诠释所给出的不同。我们在前面探讨过，根据标准诠释，量子实体在测量之前不具有确定的属性，比如位置。根据玻姆的观点，简单地说，量子实体确实具有不依赖于任何测量而存在的确定的位置。因此，我们缺少的信息，比如某粒电子的位置，并不是因为电子在测量之前没有位置；事实上，就像我们不知道我的口袋里有多少枚硬币，我们对电子位置的信息缺失基本上与我们对硬币数量的信息缺失是同类型的。

至于薛定谔的猫这一思想实验，由于光子在测量之前具有一个确定的位置，那么到底是探测器A还是探测器B探测到了光子（尽管我们只有在打开盒子的时候才会知道），就会存在一个事实。因此，根据玻姆的诠释，就不会存在处于生死叠加状态的猫。我们不知道猫的生死，只是因为存在信息缺失。

此时，可能出现的一个问题是，如果玻姆的观点在预言能力上与量子理论诠释的通常角度相同，而且如果根据玻姆的观点，我们可以把潜在现实看作是我们大多数人都更为习惯且已明确定义的现实，那么为什么玻姆的观点不是标准观点呢？也就是说，为什么玻姆的角度以及诠释是一种少数派观点呢？为什么这个观点没有得到广泛接受呢？

围绕玻姆诠释的命题都很复杂，也很有趣，而且要回答上述问题，也并不容易。然而，对这些问题，我将提出两个大致（但并不全面）的答案。第一，请注意，无法证明玻姆数学优于现有数学。重申一下，玻姆数学与量子理论标准数学所做的预言似乎是相同的。回忆一下，量子理论标准数学在玻姆提出修正方案时已经存在多年。物理学家们已经习惯了现有数学。然而，现在玻姆提出了另一种数学。不过，由于玻姆数学没有做出新的预言，也就不能证明它比当时已有的数学更好。因此，

从实用的观点来看，并没有什么强有力的理由让玻姆数学来替代已有的数学。

第二，尽管玻姆数学可以得到与标准数学相同的预言，但是玻姆数学能否带来一种不像标准诠释那样面临诸多问题的诠释，还并不明朗。简单来说，目前已发现以下问题：前面提到的引导波一定要被当作是表达了现实中的某些东西。（如果不是这样，那么就完全没有理由来选择玻姆的方法了。也就是说，如果你采用工具主义态度来对待量子理论，那么你可能就会坚持大多数物理学家所使用的标准数学了。）除此之外，玻姆的引导波需要比光速更快的作用（针对这类比光速更快的作用，标准的术语是超光速作用），而通常的观点是玻姆方法中的超光速作用与爱因斯坦相对论矛盾。简言之，玻姆的方法与相对论矛盾是广为人知的，如果必须在玻姆的诠释和爱因斯坦相对论之间做出选择，毫无疑问胜出的会是相对论。

正如前面提到过的，玻姆的诠释与相对论矛盾是广为人知的，但是这个观点是否正确则是另一个难以回答的问题。在下一章中我们将看到，新近发现的量子事实使任何不考虑某种超光速作用的诠释都出局了。考虑到这些新近发现的事实，玻姆诠释的支持者认为其所需要的超光速作用与其他任何可行的诠释所需的条件相比，并没有更糟。但是，玻姆诠释的某些批评人士认为，这个诠释与其他诠释相比，需要更"强有力"的超光速作用，也就是说，玻姆诠释中的超光速作用即使没有在字面上与相对论矛盾，也至少违反了相对论的精神。

这一争论所涉及的命题非常复杂，至于玻姆诠释与相对论之间的矛盾是不是真的会带来问题，这是个开放性问题。但至少可以说，玻姆诠释通常被认为不能与爱因斯坦相对论很好地协调一致，这也是玻姆诠释没能得到更广泛接受的主要原因之一。

多世界诠释

在结束这个概述性小节之前，最后一个值得描述的诠释是多世界诠释。多世界诠释既不是标准诠释的一个变形版本，也不是隐变量诠释的变形版本。

理解多世界诠释，最简单的方法是把多世界诠释与标准诠释进行对比。正如我们在前面讨论过的，在任何一种标准诠释中，最让人困惑的方面之一都是波函数的坍缩。前面我们讨论了隐变量诠释，它的一个优势就是不涉及波函数的坍缩（因此，这种诠释经常与多世界诠释一起被划为"无坍缩诠释"）。同样地，多世界诠释的优势也是不需要波函数的坍缩。然而，与隐变量观点相同，多世界诠释具有了这个优势，在其他方面必然也付出了代价。

让我们再思考一下图25-15所示的分束器实验。假设我们按一下按钮。回忆一下，当光子穿过分束器但还没到达探测器时，量子理论数学

所表达的是光子处于态叠加的状态。重申一下，其中一个态是光子是向探测器A运动的一列波，另一个态是光子是向探测器B运动的一列波。

现在，假设一瞬间后，光子抵达了探测器，我们听到探测器A发出“哔”声，表明探测器A探测到了光子。不管是依据哪一种标准诠释，此时波函数都已经发生了坍缩，也就是说，态叠加已经坍缩成一个态，在这个例子里，也就是探测器A探测到光子。

对于这个情境，多世界诠释做何解释？根据多世界诠释，波函数从来没有坍缩。也就是说，即使当光子到达探测器后，态叠加仍在持续。此时，组成态叠加的两个态分别是，探测器A已探测到光子和探测器B已探测到光子。根据多世界诠释，波函数从来没有坍缩，态叠加持续存在。

这个解释同样适用于薛定谔的猫的情境。光子探测器、猫的听觉系统或者你我对盒子内情况的检查都不会让波函数坍缩。重申一下，根据这个诠释，波函数的坍缩是不存在的。

这里有一个明显的问题，那就是如果波函数确实不坍缩，而且确实存在刚刚所描述的态叠加，那么为什么你我没有观察到这样的态叠加？在图25-15所示的例子中，为什么我们观察到的只有探测器A探测到了光子？在薛定谔的猫的情境中，为什么我们没有观察到活猫和死猫的态叠加？

答案是，你和我是态叠加中一个态的组成部分，也就是说，你和我都存在于态叠加的其中一个态里。你和我恰巧存在于（或者，也许说我们是这个态的一部分更为合适）探测器A已探测到光子的态里，或者在薛定谔的猫的情境里，我们存在于死猫的态里。然而，由于没有（从来没有）出现过波函数的坍缩，其他态仍然存在。在另一个态里，有与你和我相对应的存在。（顺带提一下，并没有特别合适的词来指代这个概念，“相对应的存在”可能是最接近的描述了。）我们听到了探测器A发出“哔”声，而与我们相对应的存在则听到了探测器B发出“哔”声。我们看到的是死猫，而与我们相对应的存在看到的则是一只活蹦乱跳的小猫。

简言之，不存在人为而神秘的波函数“坍缩”。存在一个代表了整个宇宙的波函数，也就是说它代表了一切，包括你我和所有与你我相对应的存在。这个波函数根据薛定谔方程式随时间进行演变，它所代表的宇宙由数量众多的态相互叠加而组成，而且这些态的数量还在持续增加。你和我正是存在于其中的一个态里。然而，从一个宽泛的角度来看，这个态并没有什么特别之处，与其他所有组成整个态叠加的态相比，这个态并没有更“真切”或更“不真切”一些。

多世界诠释所展示的图景就像是一个不断发出新枝的大树，其中每一根树枝都代表了庞大的态叠加中的一个态。每当一个量子实体进入了可以造成态叠加的情境中时，就会发出一根新枝。由于这种情境经常发

生，因此这棵树在以非常惊人的速度发出新枝。

关于量子理论诠释的最后几点意见

我们在前面强调过，量子理论诠释肯定受制于已知量子事实，而且应该至少会与量子理论数学保持一致。然而，正如我们已经看到的，量子事实本身就相当奇怪，而量子理论数学与常识性的现实也不一致。在很大程度上说，正是由于这些原因，所有量子理论解释通常都与常识相当矛盾。唯一例外的是爱因斯坦的诠释，但是在前面我们也提到过了，这个诠释已经站不住脚了。

我们必须看到，对于诠释问题，秉持工具主义态度是很常见的。也就是说，如果你用工具主义态度来对待量子理论，那就不会与诠释问题遭遇。从工具主义角度来看，量子理论是一个便于做出预言的工具，就像托勒密的周转圆被当作是一个便于做出预言的数学工具。但是，如果面对的问题是理论背后的现实，那么工具主义者将会采取不可知主义态度。同样地，这也是一种看待量子理论的值得尊重的态度。确实，关于这个态度有很多值得讨论之处，而且这也是物理学家进行研究时，至少是在他们的工作时间内，可采用的最为实用的态度。

但是，对我们这些不是物理学家的人来说，甚至是对结束了一天的工作、离开实验室后的物理学家来说，有一个问题自古希腊时期就在西方思想中占据一席之地，让人难以拒绝，那就是：我们究竟生活在怎样的宇宙中？ 这个问题的答案一直为每个时代的尖端科学所左右，量子理论当然是我们的历史上最重要和最成功的理论之一。因此，量子理论自然会影响我们目前如何认识自己所处的宇宙。然而，值得注意的是，当前的量子理论诠释所展示的宇宙，与我们一直所认为的宇宙相比，是相当不同的。

标准诠释的各个版本、玻姆诠释和多世界诠释都有一些吸引人的方面，也都有一些方面不那么吸引人，因此，我们很有必要花些时间来对每种诠释的优势与劣势进行总结。

我们在前面看到了，标准诠释的优势是，它是一个极简主义者的诠释，也就是说，这种诠释与我们在本章前面部分所讨论的标准数学相当接近，而且看起来也相当一致。比如，如果数学指出，在某个特定环境下，某粒电子并没有确定的位置，那么情况就是这样，我们只需要接受“宇宙并不是由具有确定属性的实体所组成的”这一观点。

然而，正如我们所看到的，在通常量子理论数学所展示的情境里，标准诠释的支持者确实加入了波函数的坍缩。坍缩据推测出现在测量发生的时候，这使标准诠释的支持者面对与测量问题相关的难题时无法给出很好的答案。测量时到底发生了什么？由于测量过程只是一个物理过程，与我们不算作测量的过程相比，并不是不同类型的过程，那么测量过程和非测量过程之间怎么可能存在任何真正的差异？同样地，如果所

有物体都由量子实体组成，那么测量设备与其所测量的量子系统之间怎么可能存在真正的差异？这些问题都是测量问题的变形，或者换个更好的说法，它们是从不同侧面来看待测量问题。波函数的坍缩给标准诠释的支持者提出了难题，而这些支持者也确实无法很好地回答这些问题。

相比之下，玻姆诠释避免了测量问题，这是其值得注意的优势。根据玻姆诠释，不存在波函数的坍缩，因此这一诠释的支持者也就不需要面对前面提到的难题。根据玻姆诠释，测量设备与其所测量的量子系统之间不存在根本性差异，神秘的波函数坍缩不存在，测量问题也不存在。

然而，人们广泛认为玻姆诠释无法很好地与爱因斯坦相对论保持一致。爱因斯坦相对论是现代物理学的核心分支，这可能就是玻姆诠释的一个严重缺陷。因此，玻姆诠释尽管有优势，但也有明显缺陷。

多世界诠释同样因为避免了测量问题而具有巨大优势。在这里，同样不存在波函数的坍缩，因此也就没有伴随坍缩而来的各种难题。除此之外，这种诠释是一个真正的极简主义者诠释。也就是说，表面看起来，这种诠释接受了本章前面所讨论的标准数学所表达的情境。如果量子理论数学表明，涉及量子实体的系统处于态叠加状态，那就是这样吧。你、我和我们周围的所有物体只是其中一个态的组成部分，无数个这样的态组成了复杂的态叠加，把一切事物都纳入其中。这是数学所展示的，多世界诠释的支持者就这样按字面意思来接受了。

然而，多世界诠释的优势也是其劣势，因为这个诠释很有可能是所有诠释中最反直觉的一个。很难想象现实会像多世界诠释所展示的那样不同，也就是现实是由无数个与你、我和我们周围所有物体相对应的存在所组成的。同样困难的是想象组成现实的并不是我们所处的这个单一确定的世界，而是无数个态形成的态叠加，而我们所处的世界只是其中一个态。因此，简言之，与其他诠释一样，多世界诠释也是既有优点也有缺陷。

也许，此时我们可以更好地理解为什么用工具主义态度来看待量子理论如此普遍。让我们花一点时间来回顾一下我们在本书前面章节中讨论过的某些理论。在西方历史（也就是有记载的历史）的大部分时间里，托勒密理论是解释天文学数据最好的理论。然而，正如我们看到的，这个理论需要周转圆。很难想象行星如何真的沿那么小的一个圆圈进行运动，也就是说，很难用现实主义态度来看待周转圆。由于认为行星真的按托勒密体系所描述的轨迹运动是非常困难的，天文学家们通常都采用工具主义态度来看待托勒密体系中的周转圆。

至于开普勒关于行星运动的观点，也就是行星沿椭圆形轨道以变化的速度运行的观点，用现实主义态度来对待这个观点所展现的行星运动是很容易的（过去和现在都是如此）。但是这个关于行星运动的观点只表明行星是这样运动的，但并没有更完整地解释为什么行星会这样运

动。牛顿物理学似乎对行星运动进行了解释：椭圆形轨道是根据惯性定律和万有引力定律得出的。

然而，正如我们在第20章结尾所看到的，如果用现实主义态度，那么牛顿的万有引力概念似乎涉及一个神秘的“超距作用”。同样地，很难想象怎么可能真的存在这样神秘的“超自然”力量。同时，我们在第20章结尾还看到了，从很大程度上说正是基于这些原因，牛顿本人更倾向于用工具主义态度来看待重力。（重申一下，从小到大都接受牛顿世界观教育的人通常用现实主义态度来对待重力，但这非常有可能是因为他们从小就接受了重力概念，因此通常不会察觉到重力的某些奇特之处。）

在这一章中，我们看到了量子理论同样不能与常识性的现实保持一致。因此，通常用工具主义来看待量子理论，而这其实只是延续了一个已经长期存在的倾向，也就是在看待那些无法得出完备的现实主义诠释的理论时，通常采用工具主义态度。

但是，如果我们确实想思考现实问题，也就是我们所感兴趣的是搞清自己身处什么样的世界，那么值得注意的是，每个现有的诠释都有某些方面不那么有说服力。正如在这一小节开头提到的，不仅仅对哪个诠释是正确的（如果真的有一个是正确的）不存在共识，甚至关于哪个诠释更可取都没有共识。你更喜欢哪个诠释，通常说到底基本上是个审美问题，也就是什么样的古怪特性更得你心，或者，也许更准确地说，什么样的古怪特性让你觉得最不成问题。

| 结语 |

不可否认，这是很长的一章。但是，对于像量子理论这样如此复杂的话题，这很正常。回到我们开始这一章时提到的，重点是要把量子事实、量子理论数学和量子理论诠释之间的区别始终印在脑中。

本章主要的几节对这几个话题依次进行了探讨。在探讨过程中，我们看到了，量子事实是令人惊讶的，但是对于量子事实是什么不存在争议。量子理论数学是波数学的一个变形，而且在物理学中并不少见。

最有争议和难以理解的命题围绕诠释问题出现，也就是什么样的现实与已知事实相一致的问题，以及什么样的事实与量子理论数学（或者，在玻姆诠释的例子里，与标准量子理论数学的一个替代选项）相一致的问题。正如我们看到的，通常的诠释（除了爱因斯坦的诠释，不过这个诠释已经站不住脚了）所展示的现实，没有一个与我们在过去2500年里已有的现实有任何相似之处。

在下一章中，我们将研究某些新近发现的经验事实，这些事实对现实问题产生了额外的意义。具体来说，这些事实澄清了什么样的诠释是可行的选择。我们将看到，新的经验事实并没有让情况变得不那么古怪，但确实有助于我们分辨出古怪之处在哪里。

[1] 关于实验设置的更多内容可参见托马斯·杨（1807）中的“双缝实验”（又称“杨氏双缝干涉实验”）。

第26章　量子理论与定域性：EPR、贝尔定理和阿斯派克特实验

在前一章中，我们研究了某些量子事实，对量子理论数学进行了概括了解，并探讨了对量子理论的某些诠释。近些年里，某些新量子事实得以发现，这些事实据称影响了对量子理论的诠释。在这一章中，我们的主要目标是：①理解这些关于量子理论的新近实验，通常认为这些实验会对我们看待现实的观点产生影响；②分析前面所说的这些影响。具体来说，我们将详细探讨“这些新近实验表明任何关于现实的‘定域’观点肯定都是错误的”说法。与在前一章中的做法相同，让我们从一些介绍性材料开始讨论。

背景信息

我们在前一章中强调过，理解量子事实、量子理论本身和量子理论诠释之间的区别非常重要。在这一章中，我们所感兴趣的主要是新近的实验，通常都认为它们对诠释量子理论产生了重要影响。这些实验被归类为量子事实。换句话说，我们要讨论的这些实验以及实验结果只是一些新的量子事实。另一方面，这些实验的影响也是诠释量子理论时涉及的现实问题的一部分。重申一下，量子事实对诠释问题很重要，因为我们能怎样回答这些问题，都受制于这些事实。具体来说，不管现实是什么样子，它最好可以带来已知事实。

正如前面提到过的，某些新近的量子事实把任何关于现实的“定域”观点都排除在外了。也就是说，新近的量子事实很可能只有通过非定域性现实才能产生。接下来，到某个时候，我们必须认真思考“定域性”和关于现实的“定域”观点到底是什么意思，不过，首先我将试图用尽可能易于理解的方式来描述一下这些新的量子事实。

要理解这些新的事实，最简单的方法是研究我所说的“EPR/贝尔/阿斯派克特三部曲”。这个三部曲包括EPR思想实验，这是爱因斯坦、波多尔斯基和罗森在发表于1935年的一篇论文中共同提出的；通常所说的贝尔定理或贝尔不等式，由约翰·贝尔于1964年进行了验证；以及阿莱恩·阿斯派克特实验室自20世纪70年代中期到20世纪80年代早期所进行的一系列实验，其中最重要的一系列实验进行于20世纪80年代早期。

接下来，我所展示的将是稍作简化的EPR思想实验、贝尔定理和阿斯派克特实验。举个例子，我所展示的三者似乎都与光子的简单极化属性有关，而事实上情况要更加复杂。同时，我所展示的贝尔定理似乎是为了一个实验而进行的一系列设计，但实际上它是数学验证而不是实验设计。我们同样简化了与光子极化相关的命题和对相关实验的描述。经过简化，这些内容将明显变得更易于理解，但EPR、贝尔定理和阿斯派克特实验的核心思想绝没有被曲解。让我们从EPR思想实验开始。

在接下来的讨论中，我们的主要关注点是光子的“极化”。在这个讨论中，你不需要知道什么是极化。这很好，因为无论如何，并没有人知道极化到底是什么。对于我们的讨论来说，你只需要知道极化是光子的一个属性（这大概就像是说橙色是南瓜的一个属性一样），以及极化探测器可以探测到极化属性。

假设极化探测器可以探测到任何出现上“极化”或下“极化”的光子，对单个光子来说，被测量为出现了上极化的概率有50%，出现了下极化的概率也是50%。

假设，我们发射出了一对特殊的光子，具体来说，就是一对处于“孪生状态”的光子。当我说光子处于孪生状态时，我的意思是如果测量两粒光子的极化，将会发现它们总是处于相同的极化状态。也就是说，这就很像是当我们检查同卵双胞胎的性别时，性别探测器显示的结果是两个都是男孩或都是女孩，而当我们测量孪生光子极化时，极化探测器所得的结果将是两个都是上极化或都是下极化。（更精确地说，如果我们用两个相同的极化探测器来测量极化，探测器显示的结果会是都为上极化或都为下极化。在这一节的剩余篇幅内，我们将假设一直用两个相同的探测器来测量两粒光子。）

值得注意的是，除了上述测量结果，我们说光子处于孪生状态并没有什么其他含义了。换句话说，这个说法并没有明示或暗示在没有进行测量时光子真正的样子。简言之，我只是在描述一些量子事实：如果你发射出一对这样的光子，并对它们进行极化测量，极化探测器显示的结果会都是上极化或都是下极化。重申一下，这就是我们说光子处于孪生状态时所要表达的全部含义。请试着仅仅考虑这些事实，而不要去想象在没有测量的时候光子到底是什么样子。

现在，假设我们有这样两粒孪生光子，把它们分开，然后向两个设置在相反方向的极化探测器发射出去。把这两个探测器分别称为A和B，让我们假设探测器B与光子源之间的距离略大于探测器A与光子源之间的距离。整个实验设置如图26-1所示。

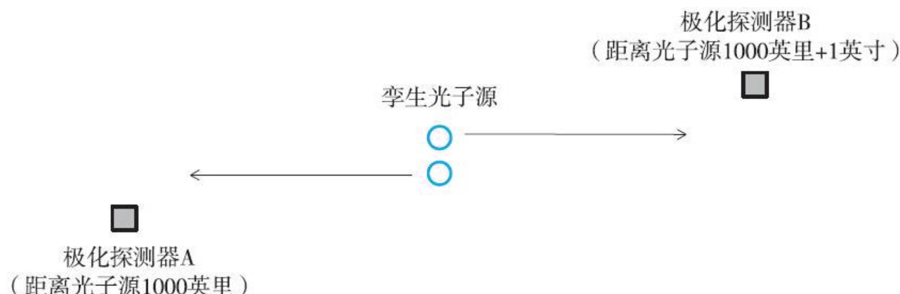


图26-1　典型的EPR实验设置

让我们重点关注向探测器A运动的光子。假设当光子到达探测器A处时，探测器探测到光子的上极化。此时我们知道，一瞬间之后，另一粒光子会到达探测器B处，它也会被探测为上极化（我们之所以知道，是因为两粒光子是孪生光子，因此总会被测量为相同的极化）。确实，一瞬间后，探测器B处的光子的确被测量为上极化。

以上就是EPR情境了。根据到目前为止我所提供的内容，这个情境似乎没有什么令人惊讶或耐人寻味之处。因此，这个情境到底有什么重要意义？爱因斯坦、波多尔斯基和罗森为什么要设计这个实验情境？

在上述设置中，爱因斯坦、波多尔斯基和罗森试图让我们相信量子理论是不完整的，也就是说，存在量子理论没有包含的“现实因素”（这也是EPR论文中出现的术语）。具体来说，爱因斯坦、波多尔斯基和罗森的论证如下：

（1）光子一定是先具有一个确定的极化，然后才被测量为具有这个极化属性。

但是

（2）量子理论所表达的，并不是两粒光子在被测量为具有某个极化属性前就已经确定具有了这个极化属性。

因此，EPR实验认为量子理论是一个关于现实的不完整理论，因为量子理论的表达缺少了一个现实的因素，也就是光子在被探测前所具有的极化。

论述（2）是正确的，也就是说这确实是量子理论的一个特点（换句话说，这是量子理论数学的一个特点）。所以，如果EPR可以让我们相信论述（1）是正确的，那么我们就可以认为EPR得出“量子理论是一个不完整理论”的结论是有道理的。我们接下来的任务就是认真研究可以让我们相信论述（1）的原因。这会非常复杂，但是只要慢慢来，我们的讨论应该非常清楚。

论述（1）的论据

要理解论述（1）的论据，我们需要理解通常所说的定域性 假设。与许多基本假设相同，用文字来描述这个假设是相当困难的。在试图给出一个定义之前，让我首先用几个例子来说明定域性假设。

假设我把某个物体，比如一支圆珠笔，放在你面前的桌子上。我让你来移动这支笔，但是不能碰触它，不能对它吹气，不能摇桌子，不能花5美元找别人来帮你移动它，也不能用你可能拥有的任何“精神力量”，总之就是跟笔不能有任何联系（包括物理和非物理的）。你很有可能觉得我交给你的是一个不可能完成的任务。然而，为什么 你会觉得不可能完成？可能因为你认为一个物体（在这个例子里就是你）不可能对

另一个物体（在这个例子里就是笔）产生任何影响或效果，除非两者之间有某种联系（比如，物理接触、通信，或者至少是某种关联）。

再举一个例子：假设我们让萨拉和乔伊每天早上都去买甜甜圈。我们让萨拉去位于城北边的甜甜圈大王买，让乔伊去位于城南边的、距离有些远的另一家甜甜圈大王买。他们同时出发，我们甚至可能还让其他人跟着他们，从而保证他们去了要求的店铺。假设萨拉买奶油甜甜圈的时候，乔伊买的也是奶油甜甜圈；当萨拉选择买巧克力甜甜圈的时候，乔伊也会选择巧克力甜甜圈。总的来说，萨拉选择了怎样的甜甜圈，乔伊就会选择相同的。一天又一天，一周又一周，一月又一月，总是如此。在这个情境中，我们的直觉是萨拉和乔伊之间一定有某种联系或者某种通信。我们通常会觉得发生在一个地点的事件（在这个例子里，就是萨拉在甜甜圈店里选择购买什么样的甜甜圈），不可能对发生在另一个地点的事件（也就是乔伊在店里对甜甜圈的选择）产生影响，除非两者之间有某种联系或通信。

前面这段陈述正是对定域性假设的一种表达。简言之：

定域性假设（粗略版）：发生在一个地点的事件不能对发生在另一地点的事件产生影响，除非两个地点之间存在某种联系或通信。

“某种联系或通信”到底指的是什么，而一个事物对另一个事物产生影响又是什么意思？这两个问题可以从多个角度来理解，这又带来了大量与定域性假设相关的误解和误会。在这一节后续篇幅中我们将探讨对这些概念以及对定域性假设的多种理解。就论证EPR而言，这个定域性假设的粗略版本已经能够满足我们的需要。

有了定域性假设，EPR实验对论述（1）的论证很快就完整了。根据定域性假设可以得出，在探测器A处进行的对光子极化的测量不能影响在探测器B处进行的对光子极化的测量。这是因为两个探测器之间的距离太远，因此没有时间让任何类型的信号、通信或影响从A移动到B，至少，不可能存在这样的影响，除非它们的运动速度比光速还高，而且由于“不存在运动速度比光速还高的影响”是已经得到广泛接受的观点（基于爱因斯坦相对论），所以似乎存在非常合理的理由来认为发生在探测器A处的事件不能影响发生在探测器B处的事件。因此，在探测器A处光子的极化与在探测器B处光子的极化之间完美的相互联系只能用“光子在被探测前就具有了确定的极化”来解释。换句话说，如果定域性假设是正确的，那么就可以推理得到论述（1）。

你可以这样来总结概括EPR实验的论证过程：要么定域性假设是错误的，要么就是量子理论是不完整的理论。然而（EPR实验继续论证）认知正常的人都不会放弃定域性假设，因此（EPR实验得出结论）量子理论肯定是不完整的理论。

| 贝尔定理 |

请注意，实际进行EPR思想实验其实并没有什么意义，因为其核心命题是光子在被探测前是否具有极化属性，实际进行实验只能让我们看到光子在被探测到时的极化属性，而不是在那之前的。

1964年，约翰·贝尔（1928—1990）开始思考是否存在某种方法来修改EPR情境，从而使我们在实际进行这个修改了的EPR实验时能得到一些有趣的结果。贝尔的成果通常被称为贝尔定理 或贝尔不等式 。正如这个名字所透露的，贝尔的成果实际上是一个数学验证。然而，如果我们把它当作一个实验设计，会更容易理解，因此接下来我将会把它作为一个实验设计来讨论。

贝尔本人和大卫·莫民、尼克·赫伯特一起为贝尔定理进行了很多很好的非数学阐述。接下来，我将使用可乐机的类比，尽管这个类比是我提出来的，但是其中的关键点都来自前述三位的解释中我认为最精彩的部分。在这里，请保持耐心，因为这可能需要几分钟的时间，但是当我们完成这些讨论时，你就相当于完成了一个非正式的贝尔定理演绎过程。

让我们首先从一个可乐机的类比开始。思考一下图26-2。在这个设置里，我们有两台大体相同的可乐机，分别称为机器A和机器B。我们同时还有一个按钮，每按一下按钮，每台机器就会吐出一罐碳酸饮料。让我们假设，事实上，每次我们按下按钮时，两台机器吐出的饮料要么是健怡可乐（我将用D来代表），要么是七喜，也就是人们通常所说的非可乐（我将用U来代表）。每台机器上面都有一个字母键盘，键盘上有三个按键，分别是L（代表左）、M（代表中间）和R（代表右）。

最后，假设两台可乐机之间没有明显的通信或联系。也就是说，我们在A和B之间找不到电缆、无线电连接或任何形式的联系。有了这些条件，我们将描述四个情境。



图26-2　可乐机类比

在情境1中，机器A上的字母旋钮设置在中间位置，同样地，机器B上的字母旋钮也设置在中间位置。假设我们按了上百次按钮，并发现每

次我们按了按钮后，两台机器吐出的软饮都一样。也就是说，每次A吐出健怡可乐时，B吐出的同样也是健怡可乐；而每次A吐出七喜（非可乐）时，B同样吐出了七喜。除此之外，我们注意到，两台机器吐出的饮料是健怡可乐和七喜的随机组合。也就是说，尽管每次两台机器吐出的碳酸饮料都相同，但是在所有吐出的饮料中，有50%是健怡可乐，另外50%是七喜。

假设我们用A：M来表示机器A上的字母旋钮设置在中间位置，同样地，用B：M来表示机器B上的字母旋钮也设置在中间位置。假设我们用D和U来代表两种碳酸饮料，并记录每台机器每次吐出的饮料类型（举个例子，A：M　DUDDUDUUUD表示当机器A上的字母旋钮设置在中间位置时按10下按钮所得到的结果）。接下来，我们可以把情境1总结如下。

情境1

A：M　DUDDUDUUUDUDDUUDUDDUDUUUDUDD…

B：M　DUDDUDUUUDUDDUUDUDDUDUUUDUDD…

总结：相同结果

在情境2中，我们将把机器A上的字母旋钮设置在左侧位置，但机器B上的字母旋钮则保持在中间位置。假设当我们把旋钮设置好，然后按了几下按钮后，我们注意到尽管两台机器通常都会吐出同样的碳酸饮料，不过偶尔也会出现两台机器不一致的情况。具体来说，我们会发现，当字母旋钮如此设置时，两台机器吐出饮料的结果中有25%的差异。总结如下。

情境2

A：L　DDUDUUDUDDUUDUDUUDUDDDUDUUDU…

B：M　DUUDUDDUDDUUDUUDUDUDUDUDDUUU…

总结：25%的差异

在情境3中，我们将把机器A上的字母旋钮调回中间位置，然后把机器B上的字母旋钮调到右侧位置。然后再按几下按钮，我们再次注意到，尽管吐出的饮料通常都是一致的，但其中还是有25%的差异。总结如下。

情境3

A：M　UUDUDDUDUUDDDUDUUUDUDUUDDUDD…

B：R　UDDUDUUDDUDUDUDDUUUUDUDDDUDD…

总结：25%的差异

在情境4中，我们将把机器A上的旋钮调到左侧位置（就像在情境2中），把机器B上的旋钮调到右侧位置（与情境3中相同）。先不说结果，情境4的设置如下。

情境4

A：L　？？？

B：R　？？？

总结：？？？

现在，让我们思考一下当机器A和B上的旋钮如此设置时，我们能看到怎样的结果。具体来说，让我们做以下假设：

（1）两台机器之间没有任何通信或联系。

（2）定域性假设是正确的。

如果（1）和（2）是正确的，那么情境2中25%的差异应该只是机器A上字母旋钮位置变化所带来的结果。同样地，情境3中25%的差异一定只是机器B上字母旋钮位置变化的结果。也就是说，如果两台机器之间没有通信或联系，那么调节机器A上字母旋钮的位置只能影响机器A吐出饮料的结果，而调节机器B上字母旋钮的位置则只能影响机器B的结果。

因此，如果调节A上的旋钮会带来A吐出饮料结果中25%的差异，调节B上的旋钮会带来B吐出饮料结果中25%的差异，那么请回答下面这个关键问题：如果我们同时调节两个机器上的字母旋钮，就像在情境4中，那么两个机器之间吐出饮料结果中最大的差异会是多少？

在继续讨论之前，让我们先停下来，思考一下，然后回答这个问题。如果你看到答案，那么你所做的实际上就是对贝尔定理的一个非正式演绎。正确的答案是，基于（1）和（2），情境4中最大的差异是50%。也就是说，如果调节A上旋钮给A吐出饮料的结果所带来的差异是25%，但并不影响B的结果，而调节B上旋钮给B吐出饮料的结果所带来的差异是25%，但对A并没有影响，那么同时调节两个字母旋钮就可以带来合并了的差异，最大为50%。这个演绎，也就是对“在这样的情境中最大差异是50%”所进行的演绎，实际上就是贝尔定理。

当然，贝尔并不关心可乐机所吐出的饮料，而且，可乐机情境确实仅仅是一个类比。要看到这如何与量子理论产生关系，让我们把可乐机的类比与量子理论联系起来。

假设当我们按下按钮时，我们所得到的结果并不是可乐机吐出碳酸饮料，事实上，每次我们按下按钮，就发射了两粒孪生状态的光子，这与图26-1中所示的EPR情境完全一致。这里我们没有可乐机，而是极化探测器A和B，同样也如图26-1所示。然而，与图26-1所示的基本EPR情境不同，这些探测器上有可乐机上的那种字母旋钮，可以设置到L、M和R位置。这个修改了的EPR情境将如图26-3所示。

极化探测器实际上可以有与L、M和R等价的设置，如图26-3所示。现在假设我们要进行几个完全可以和可乐机情境相对应的实验。假设我们把两个极化探测器都设置到中间位置，然后反复按下按钮，每次都发射出一对孪生光子，分别向各自的探测器运动。回忆一下，对孪生光子来说，只要探测器是相同的，两粒光子就会被探测为都是上极化或都是下极化。具体到这个情境中，只要探测器设置为同样的状态，两粒光子就会被探测为具有相同的极化。因此在这个情境中，两个探测器都设置到了中间位置，假设我们分别用D和U来代表下极化和上极化，那么这个实验的结果将与前面所总结的情境1的结果完全相同。也就是说，两个探测器的探测结果将会完全相同。

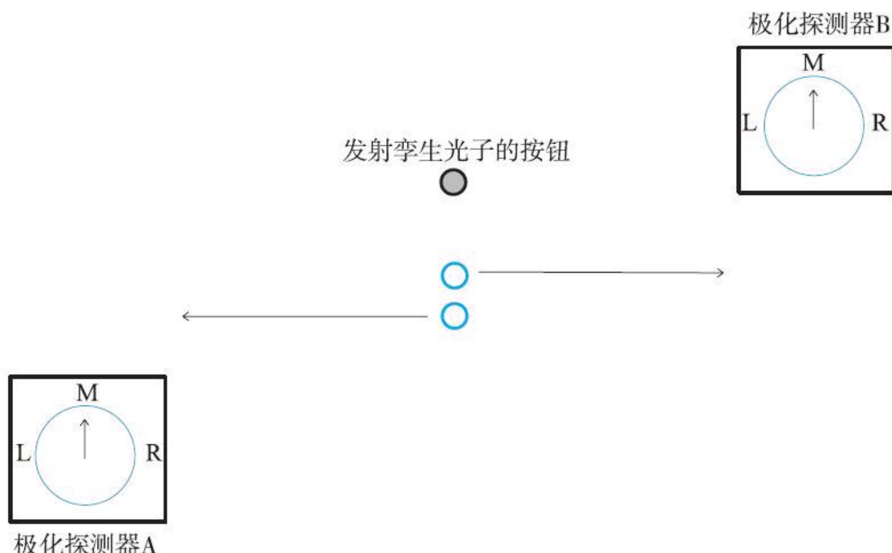


图26-3　修改了的EPR情境

请注意，这只是个量子事实，也就是说是一个量子实验的结果：把两个探测器都设置到中间位置，向它们发射出一对孪生光子，结果是探测器探测到的每一对光子都将是同为上极化或同为下极化。除此之外，这个结果也恰恰是量子理论所预言的。

现在把极化探测器按照前面的情境2进行设置。两个探测器上的旋钮不再是设置到相同位置，所以我们将不会看到每对光子的探测结果都相同。但是就实验事实而言，这个情境的实验结果与前面所总结的情境2的结果完全相同。同样地，这只是一个量子事实，而且同样刚好是量

子理论所预言的。

与此类似，把极化探测器按照前面的情境3进行设置，结果同样会与情境3的结果完全相同。重申一下，这只是一个量子事实，而且是量子理论所预言的。

到目前为止，一切都很好，没有什么不同寻常之处。然而，现在，按照情境4来设置两个探测器，也就是探测器A的旋钮设置在左侧位置，而探测器B的旋钮设置在右侧位置，然后思考一下我们将会看到怎样的结果。依然用描述可乐机时的方法，上述情境可总结如下。

情境1

A：M　DUDDUDUUUDUDDUUDUDDUDUUUDUDD…

B：M　DUDDUDUUUDUDDUUDUDDUDUUUDUDD…

总结：相同结果

情境2

A：L　DDUDUUDUDDUUDUDUUDUDDDUDUUDU…

B：M　DUUDUDDUDDUUDUUDUDUDUDUDDUUU…

总结：25%的差异

情境3

A：M　UUDUDDUDUUDDDUDUUUDUDUUDDUDD…

B：R　UDDUDUUDDUDUDUDDUUUUDUDDDUDD…

总结：25%的差异

情境4

A：L　？？？

B：R　？？？

总结：？？？

所以，我们面对与可乐机类比中同样的问题：如果定域性假设是正确的，而且两个极化探测器之间不存在任何通信或联系，那么两个探测器探测结果之间的最大差异会是多少？重申一下，答案是（实际上就是贝尔定理）两个探测器探测结果之间的最大差异可以达到50%。

精彩之处来了：量子理论的预言并不是50%。事实上，如果探测器是像情境4中那样设置，量子理论预言两个探测器探测结果之间的差异应该达到将近75%。

换句话说，贝尔发现基于量子理论的预言与基于定域性假设的预言不一致。也就是说，用可乐机进行的简单演绎表明，如果定域性假设是正确的，那么当极化探测器按照情境4进行设置时，两个探测器探测结果之间的差异最多是50%。但是量子理论的预言是这个差异预计可达将近75%。

简言之，贝尔表明量子理论和定域性假设彼此不能保持一致。两者不能同时正确。

| 阿斯派克特实验 |

正如我通过可乐机类比所展示的，贝尔定理实际上就是一个实验设置。就像前面所描述的，这个实验听起来相对直接明确。实际上，这个实验从技术角度来说是相当困难的，当贝尔在1964年提出这个实验的时候，并没有办法进行实际操作。然而，在接下来的几十年间，许多物理学家致力于将贝尔实验付诸实践。其中最成功的实验是由巴黎大学阿莱恩·阿斯派克特实验室在20世纪70年代末期到20世纪80年代早期进行的。（如果你对此感兴趣，我就再解释一下，将这个实验设置付诸实践的难点主要在于要保证两个探测器之间不可能产生任何联系或通信。）

总结一下这些实验的结果，可以说，阿斯派克特实验结果表明了，在定域性假设和量子理论之间的冲突中，量子理论胜出。也就是说，阿斯派克特实验结果有力表明了定域性假设是错误的。自20世纪70年代末到20世纪80年代初的阿斯派克特实验以来，这些实验结果由多个不同的实验室用多种实验设置进行了多次复现和验证。

至于关于现实性质的观点，贝尔定理和阿斯派克特实验结果都产生了巨大影响。阿斯派克特实验结果是量子事实，任何值得尊重的有关现实的观点都必须尊重这些事实，而尊重这些事实似乎就必须摒弃定域性假设。

然而，关于这一点，我们必须小心谨慎。回忆一下，在前面的讨论中，我们对定域性假设的措辞非常粗略。那么，下一个主要命题就是更小心地讨论定域性假设，以便澄清贝尔定理和阿斯派克特实验结果的影响。

| 定域性、非定域性和幽灵般的超距作用 |

回忆一下，本章的两个主要目标是①对新近的实验进行解释，通常都认为这些实验具有大量哲学影响；②对这些影响进行分析，特别是分

析“这些实验表明任何关于现实的‘定域’观点肯定都不对”的说法。到这里，我们已经实现了目标①，并已做好准备开始实现目标②。让我们从前面出现过的定域性假设的一个粗略表述开始。

定域性假设（粗略版本）：发生在一个地点的事件不能对发生在另一地点的事件产生影响，除非两个地点之间存在某种联系或通信。

正如前面提到过的，对“某种联系或通信”和“影响”的概念，可以有很多种理解。我们的第一个任务就是让这些命题更加精准。

有很充分的理由认为光速可以算是宇宙速度的极限。因此，我们可以利用这一点来限制两个事件之间产生联系的可能性，也就是，只有在两个事件发生的时间间隔至少能够让光从一个事件运动到另一个事件时，两个事件之间才能产生联系。举个例子，我用办公室的电话往我家打，几秒钟之后，我家里的电话开始响铃，这两个事件之间可能存在联系。这两个事件发生的时间间隔大于光从我的办公室运动到我家的时间。因此，这两个事件之间有可能存在相互联系。当然，这两个事件事实上确实是相关联的，而且这种关联很容易理解。

相比之下，光从太阳运动到地球需要大约8分钟。所以，如果要考虑太阳上发生的一个事件（比如太阳耀斑）与地球上发生的一个事件（比如电台通信干扰）之间的联系，那么只有当两者发生的时间相差8分钟以上时，它们之间才有可能存在联系。

利用这个概念，我们就可以限制“某种联系或通信”的概念了。接下来，除非我特别说明，我们都会认为“联系”的意思是联系的可能性，也就是当且仅当两个事件发生的时间间隔等于或大于光从其中一个事件发生地运动到另一个事件发生地的时间时，两个事件之间才会存在相互联系的可能性。如果两个事件间不存在这种相互联系的可能性，那么我们就会说第二个事件是“超距”发生，或者换个等价的说法，第二个事件发生在“超距处”。

这就引出了定域性假设的一个更精练的表述。对光速的强调来源于爱因斯坦相对论，而这一类影响似乎是让爱因斯坦最为担心的一类影响（爱因斯坦曾经将这种影响称为“幽灵般的超距作用”）。因此，让我们把这个表述称为爱因斯坦定域性。

爱因斯坦定域性：发生在一个地点的事件无法影响发生在超距处的另一个事件。

在阿斯派克特实验中，所研究的事件确实发生在“超距处”，也就是，两个事件之间不可能有联系（重申一下，除非这个联系的运动速度比光速还快）。阿斯派克特是如何实现这一点的，其细节是整个实验设置中最具技术挑战性的部分，而且，基本上阿斯派克特实现这一点的方法，相当于是在光子到达探测器之前，快速随机地（或者至少准随机地）改变探测器位置。简言之，阿斯派克特成功地对实验进行了设置，

使探测器的位置可以快速发生变化，从而使任何信号都没有时间从一个探测器传递到另一个探测器（同样地，除非这个信号的运动速度大于光速）。

在这些实验中，发生在一个探测器处的事件对发生在另一个探测器处的事件产生了某种影响。也就是说，发生在一个探测器处的事件（改变旋钮位置）似乎会影响发生在远处探测器那里的事件（也就是探测器探测到的光子是上极化还是下极化）。因此，贝尔/阿斯派克特实验表明，爱因斯坦定域性是错误的。简言之，似乎发生在一个地点的事件可以影响发生在超距处的其他事件。

我们在前面提到过，定域性假设和爱因斯坦定域性都提到了“影响”的概念，但这并不是一个完全清晰的概念。作为这一节的最后（也是很重要的）一个话题，值得我们讨论的是，关于阿斯派克特实验所指出的“影响”，能得出什么结论，又有哪些结论是得不到的。

“影响”这个词通常的意思是因果影响，也就是一个事件造成了另一个事件的意思。让我们花点时间来从因果影响的角度解释一下爱因斯坦定域性。让我们将其称为因果定域性。

因果定域性：发生在一个地点的事件不能对发生在超距处的另一个事件产生因果影响。

贝尔/阿斯派克特实验是否表明因果定域性是错误的？这是一个难以回答的问题，有些人认为正确的答案是“是的”，而另一些人则认为是相反的。主要难点在于因果关系的概念本身。通常，当我们谈到因果时，脑中会出现这样的例子，朝错误的方向飞出的棒球击碎了玻璃，碎玻璃扎破了汽车轮胎；手指敲击键盘造成按键下降，从而使电信号从键盘传递到电脑等。

这些因果影响通过现在的物理学已经得到了相当好的理解。如果我们把对“因果影响”概念的使用，限制在用现有物理学已经可以充分理解的因果联系上，那么在谈到阿斯派克特实验中发现的那一类影响时，我们就不会毫不犹豫地把它们当作因果影响了。同样地，这只是因为我们对贝尔/阿斯派克特实验中所发现的影响的性质知之甚少，实际上是完全一无所知，因此这样的影响就不能与那些用现有物理学就已经可以充分理解的影响归为一类。简言之，如果我们从这个角度来理解“因果影响”的概念，那么贝尔/阿斯派克特实验结果就没有表明因果定域性是不正确的。

另一方面，如果我们从更广义的角度来理解“因果影响”概念，那么就完全可以说，贝尔/阿斯派克特实验确实表明因果定域性是错误的。举个例子，假设我们认为“因果影响”（粗略地说）可以适用于彼此之间有很强相关性的事件，而且这个强相关性不能用任何常见原因来解释。（我说的“常见原因”是指两个事件之间之所以存在相互关联，并不是因

为其中一个事件是另一个事件发生的原因，而是因为这两个事件都是由另一个或几个普遍原因造成的。举个例子，我在室外放了一个温度表，其读数低于32华氏度 [1] ，而旁边池塘里的水已经开始结冰，这两个事件是紧密关联的。但是这两个事件紧密关联并不是因为其中一个事件是另一个事件发生的原因；实际上，它们都是由一个独立的常见原因造成的，也就是天气已经变得足够冷。）完全有理由说贝尔/阿斯派克特实验结果满足了这个前提，也就是说，一个探测器的设置与另一个探测器的读数之间当然存在很强的相关性，而且完全有道理说这个强相关性不是由任何常见原因造成的。简言之，如果我们从这个角度来解释“因果影响”，那么完全可以说，贝尔/阿斯派克特实验结果确实表明因果定域性是错误的。

我们对此应持怎样的态度，特别是应如何对待“贝尔/阿斯派克特实验结果是否表明因果定域性不正确”的问题？首先，值得指出的是，这个问题没有明确的答案。回答“是”或“否”都是合理的，只是要在回答的时候明确“因果影响”概念是从哪个角度来理解的。正如我们在前面看到的，这在很大程度上取决于“如何解释因果关系”这个复杂的命题。请注意，因果定域性的问题表明了围绕贝尔/阿斯派克特实验结果的命题可以变得多复杂，以及看起来简单的命题可以怎样迅速地变得复杂。

在结束之前，另一个理解“影响”概念的常见角度也值得我们思考。我脑中出现的影响是我们可以用来传递信息的那种影响。比如，打电话、向窗外大喊、用摩斯密码发布信号等，都属于这一类的影响。这带来了我们可以称为信息定域性的概念。

信息定域性： 发生在一个地点的事件，不能用来向一个在远处的地点传递信息。

贝尔/阿斯派克特实验结果是否表明信息定域性是不正确的？换句话说，我们能否利用两个发生在远距离地点的事件之间的影响来传递信息？举个例子，我们能不能在地球上设置一个探测器，在火星上设置另一个探测器，然后利用贝尔/阿斯派克特情境来在两个探测器所处位置之间即时传递信息？

请注意，根据贝尔/阿斯派克特实验设置，两个探测器完全不需要彼此相当接近。因此，原则上说，我们可以把一个探测器设置在地球上，另一个设置在火星上（或者理论上说，也可以设置在上千光年之外的某个星系里），然后我们还将得到同样的结果。也就是说，发生在一个探测器处的事件显然会即时地影响到发生在超距处的另一个探测器处的事件。那么，这很可能会让我们忍不住认为可以利用这个影响来向超距地点即时传递信息，从而违反了信息定域性。

然而，似乎没有办法利用贝尔/阿斯派克特实验设置在两个地点之间传递任何信息。说到底，原因是D和U的续列是随机的。要理解这一点，一个更具体的例子将会很有帮助。

假设你在探测器A处，可能是在美国俄克拉何马州图尔萨市，而我在探测器B处，可能是在200万光年外的仙女座星系里。假设我把探测器上的旋钮设在R位置。看看前面的情境3和情境4，我们知道如果你把探测器的旋钮设置在M位置，那么我的探测器所探测的结果与你的探测器所探测的结果相比，出现差异的概率只有25%。但是如果你把探测器旋钮设置在L位置，我的探测器读数与你不同的概率马上跃升到75%。简言之，你只需要把探测器旋钮在M和L位置之间转换，就可以显著影响我们的探测器读数一致的概率。由于你可以对我这边探测器的结果产生如此重大的影响，似乎你应该可以利用这个影响来向我即时传递信息，从而表明信息定域性是错误的。

然而，你不可能利用这个影响来向我传递信息。问题是这样的：要给我传递信息，你需要能对我这边的读数是D还是U产生影响。就算你只能影响我收到D或U的概率，这也已足够向我传递信息了。因此，毫无疑问：如果你可以操控你的探测器旋钮，使其对我的读数是D还是U产生影响，那么你就可以向我传递信息了。

问题是，你没有这种影响。你所能影响的只有我的探测器读数与你的探测器读数一致的可能性。因此，尽管你可以对我们的探测器是否得到相同读数产生影响，但这并没有使你能够传递信息。要传递信息，你需要能够对我的探测器读数是D还是U产生影响，但实际上你只能影响我们的探测器读数是否一致的可能性。

总的来说，似乎没有办法利用EPR/贝尔/阿斯派克特实验设置的影响来向一个超距地点传递信息。因此，与其乍看起来相反，贝尔/阿斯派克特实验并没能让我们有理由认为信息定域性是不正确的。

| 结语 |

总结一下，贝尔/阿斯派克特实验明确证明了，爱因斯坦定域性是错误的。也就是说，这些实验表明，发生在两个超距地点处的事件之间可以存在某种影响（或者联系、关联以及任何你喜欢的名词，其实没有哪个词是完全正确的）。正如我们看到的，对于“贝尔/阿斯派克特实验是否表明了发生在超距地点处的事件之间存在某种因果影响”的问题，并不存在明确答案，而是主要取决于如何理解因果联系的概念。就像我们刚刚看到的，贝尔/阿斯派克特实验结果尽管涉及某种影响，但是似乎并没有给我们任何理由来认为可以利用这个影响在超距地点之间传递信息。

那么，这使我们面前出现了另一个问题，也就是“这种影响是什么样的影响”。对于这个问题，最终我们可以给出的精确答案是：连最模糊的答案都没有。

[1] 华氏温标规定在一个标准大气压下，纯水的冰点为32度，故32华氏度即0摄氏度。

第27章　演化论概述

关于我们所居住的这个宇宙，有一些长期为人们所坚持的基础性假设，而新近的科学发展，特别是相对论和量子理论，却要求我们对其中某些重新认真地思考。在前面四章中，我们从多个角度探讨了这一点。在本章和下一章中，我们将探讨演化[1]理论领域相对近期的著作（从19世纪中期到现在）。与前几章所讨论的新发现一样，我们很快就会发现，演化理论同样迫使我们对一些长期以来为人们所坚持的常见观点进行重新思考。

从某个意义上说，接下来两章与前几章相比要简单得多，因为至少概括来说，演化论远比相对论和量子理论容易理解。但从另一个意义上来说，这两章难度更大。其中第一个难点在于，在演化论最基础的一些方面，存在着极为普遍而且根深蒂固的严重误解。替换这些根深蒂固而又广泛传播的误解将会非常困难。第二个难点在于，很多人认为演化论的一些推论很难接受。

我们将在下一章中讨论演化论难以理解的推论，在这一章中，我们的重点是两个相对直接明确的目标。第一个目标是清晰地理解演化论的基本内容，特别是要分清演化论是什么、什么又不属于演化论。第二个主要目标是理解从1800年至今，演化论是如何发展的，同时要特别关注一下目前演化论如何为生物学大多数分支提供了一个统一的框架。

| 演化论基本内容概述 |

我认为，关于“演化”这个术语的意思，人们通常所认为的其实已经远远超出了它实际的意思。实际上，“演化”的意思就是随时间发生变化。毫无疑问，存在对“演化”的其他描述，特别是在生物学的某些专业领域中，其中有些甚至更加详尽。但是，即使是前面这个对“演化”的基本描述，也需要从特定角度来理解。举个例子，对于一个景观，我们不会把一段时间内由环境侵蚀造成的变化算作演化，或者把一张照片由于暴露在阳光下而产生褪色算作演化。事实上，我们脑中那种随时间发生的变化是种群随时间发生的变化，具体来说，是一个群体的连续代际中发生的变化。为了简化讨论，我提到演化时，指的就是随时间发生的变化，并且背后真正的含义就是种群的连续代际中的变化。

这一节的主要目标就是澄清演化的基本内容，与这些基本内容有关的最著名的人物就是达尔文和华莱士（后续我们将对这两人进行进一步讨论）。让我们从对演化论的两个基本内容的描述开始。

演化论的基本内容

请注意，前面那个对演化的描述有一个重要特点，也就是演化并不

是生物有机体所特有的。群体和代际通常是用在生物学语境中的术语，但并不是只能用在这里。我们可以说汽车有群体（比如，车型种类），有代际（比如，车型的年份），也可以说个人电脑有代际，与此类似的还有许多种类众多的非生物实体。简言之，不需要把演化当作是只适用于生物群体的概念。

事实上，作为对演化论基本内容探讨的开端，非生物有机体提供了更好的范例。举个例子，思考一下像MP3播放器、手机、个人电脑这样的消费品。回忆一下，演化从根本上来说是随时间发生变化，而这一类消费品显然会随时间发生变化，而且变化会很大。

假设我们想要概括性解释为什么这些产品会发生变化，在这里，我说概括解释，主要是指它适用于以上所有的例子。在细节上，不同种类的产品之间当然有区别。但我们可以给出一个直接明确和概括性的解释，内容如下。

首先，请注意，前面所提到的所有产品（包括MP3播放器、手机、个人电脑等），不同类别之间有巨大差异。假设我们把朋友和同事都聚集到一起，每个人都把手机拿出来放在桌子上进行对比。我们会发现各种各样的特点——大屏幕，小屏幕，智能手机，非智能手机，有些有内置摄像头，有些没有，有些是这种话费套餐，有些是那种套餐，有些有键盘，有些没有，有些有智能广告推送，有些没有，等等。简言之，我们可以找到的不同之处数量众多、范围广泛。（顺带提一下，如果你知道我的手机有多么原始，可能会非常震惊。我仍然在使用最初的手机，尽管只用了6年，但令人震惊的是就在这短短6年里，它已经从尖端科技产品变成了过时的恐龙。这类产品的变化速度非常快。）如果我们把MP3播放器、个人电脑或其他任何一种物品进行一下对比，情况都是相同的。

同时，请注意，我们所说的变化是可以传递到后续代际上的变化。如果某种特定的变化很受欢迎，那么生产厂商肯定会确保这个变化出现在新一代产品中，而其他厂商也会模仿这个特性。所以我们所面对的不仅是变化，而且是能够传递到后续代际上的变化。

关于手机、MP3播放器和个人电脑这样的产品，我们还可以得出第二个概括性观察结果。从某种意义上说，这些产品都处在我们所说的“生存竞争”中。这听起来可能有点过分夸张了，但却是相当有可能的。那些与其竞争产品相比不够成功的产品将面临停产，然后很快就不会再存在了。

当然，要确定哪个产品在生存竞争中更为成功、哪个产品更失败，一个关键因素正是我们刚刚在前面讨论过的变化。如果一个型号的产品具有消费者认为有吸引力的特性，那么这个产品与其他不具备有吸引力特性的产品相比就会销量更高，而厂商则会确保这个有吸引力的特性在这个产品的后续型号上继续出现。相比之下，厂商通常会去掉消费者认

为没有吸引力的产品特性。这样一来，这些特性将不再出现在这个产品的后续新型号上。简言之，生存竞争决定了什么样的变化可以在后代上继续存在。

这些都是非常简单的例子，但说明了一个重点。要寻找对这一类产品在一段时间内所经历变化的概括性解释，我们必须明确两个基本特性，也就是：

（1）（可以传递给后代的）变化，以及

（2）生存竞争（这将影响什么样的变化可以在后代上继续存在）。

对于像MP3播放器、手机、个人电脑这样的产品如何随时间变化，以上这些简单的内容已足以给出非常概括且恰当的解释了。只要我们思考一下，很快就会意识到，不管何时，只要出现了这些基本内容，我们几乎肯定能找到随时间的变化，也就是说，我们几乎肯定能观察到演化。这种对随时间发生的变化的解释，说到底，是一个相当简单而且直接明确的观点。

正如前面提到过的，与演化联系最紧密的是生物学。前面的例子与生物演化之间的联系是相当直接明确的。与前面例子的情况一样，生物有机体也展现出种类繁多的变化，这些变化也可以传递到后代上。同时，生物有机体通常繁殖出的有机体数量要大于可生存下来的有机体数量。因此，与前面提到的产品一样，生物有机体也面临生存竞争，如果某个变化能够增强有机体在其所处环境中的生存和繁殖能力，那么这个变化在这种有机体后代上得以保存和表达的概率就会更高。

澄清几点：演化论是什么、不是什么

从最根本上说，演化论对由前面所描述的基本内容（1）和（2）所导致的随时间发生的变化进行了直接明确的描述。尽管演化论的核心很简单，但这个描述仍很容易引起某些误解。

在我看来，其中最严重的误解与认识论有关，因为它造成了关于演化论是什么、不是什么的最大困惑。具体来说，存在一个广为传播的错误观念，那就是认为演化是一个目标导向的过程，也就是说，演化论所展示的变化都是为达到某个目标而发生的变化。因此，接下来的第一个小节就将关注这个命题，并对相关命题进行讨论，比如对高等和低等物种、演化程度更高和更低的物种，以及原始和先进的物种等进行区分是否有意义。

我认为，第二个关于演化论深入人心的困惑与概率所扮演的角色有关。因此，下面将会有关于这个话题的一个小节。在下面，我们还将讨论另外两个命题，它们都涉及对演化论不那么重要但仍然很普遍的误

解，而且几乎每当谈到这些误解时，人们总是表达出对演化论的困惑，因此也值得一提。这些误解包括，“演化‘只是一个理论’”的普遍看法，以及“根据演化论，人类从猩猩演化而来”的想法。

目的论　也许关于演化论最广为传播且最具误导性的错误概念是：某些特性，比如智力、语言、工具的使用等，是“更高等”或“更好”的特性，因此演化过程将会产生具有这些特性的生物有机体。举个例子，思考一下这个不是很常见的问题：如果演化论是正确的，那么为什么其他动物没有发展出人类所具有的那种智力呢？为什么其他动物没有发展出语言或使用复杂工具及直立行走的能力呢？

这些问题所表达的有关演化的困惑，怎么描述都不算夸大。面对这个问题，很可能大多数人都会认为这是个有意义的问题。如果确实如此，那么这就意味着大多数人都混淆了有关演化的一个基本点。这里稍微偏离一下正题，我应该指出我并不会责怪有这样错误观念的人。我认为，在这几十年间，我本人以及学界和教育界的同僚们，在用易懂的方法向非专业人士解释演化论的关键内容方面，做得非常不够。

在结束这部分讨论时，我希望你可以清楚地知道为什么前面那个问题没有意义，或者至少，在你对演化论有正确概念的情况下，这个问题是没有意义的。首先，请注意，只有当你认为演化是一个偏向于产生某种特点的过程时，前面那个问题才有意义。这些特点有很多，比如语言、直立行走、使用工具和我们通常认为“高级”的特点，当然，毫无疑问，还有我们自认为与人类相关的其他特点。或者更简单地说，这个问题认为演化实际上是一个以目标为导向的认识论的过程。

然而，演化并不是这样的。从演化过程中的生存竞争中保留下来的特点，不管具体是什么，都可以帮助有机体在其所处环境中成功地生存下来并进行繁殖。在这种情况下，并没有哪个物种因为自身具有的特点而“更高等”或“更低等”，也没有任何一个物种可以说是演化程度更高或者更低。关于物种的归类，只存在生存下来的物种，而这些物种之所以生存下来，在很大程度上是因为这个物种的个体及其前辈具有某些特点。同样地，不管这些特点是什么，都帮助这些物种的个体在所处环境中生存下来并进行繁殖。

简言之，并不是演化过程是以产生任何特定类型的特点为目标，而是从这个过程中留下来的特点刚好使生物体得以生存和繁殖。演化过程并不是一个目标导向的过程，也就是说，并不是任何实际意义上的认识论的过程。（稍微偏离一下正题，这一领域的某些学者认为至少某些演化论的解释涉及了认识论。然而，即使是在这些认为演化论的解释与认识论有关的人群中，也存在一个广泛共识，那就是从广义上和容易产生误导的意义上说，演化过程并不是目标导向的，即不是认识论的，这也是我们这个讨论所关注的重点。）

理解了有关演化论的这一点，让我们回到这一小节开头的那个问

题，也就是如果演化论是正确的，那么为什么其他有机体没有发展出人类所具有的那种特点。正如前面提到过而我希望目前已经解释清楚的，只有当你认为“人类的特点无论如何都比其他特点更好，而且这些特点无论如何都会是演化过程中为数众多的有机体所选择的特点”时，前面的这个问题才有意义。然而你心里的这个前提是很难让人理解的。简言之，演化不是一个目标为导向的、认识论的过程。

概率　另一个关于演化论的常见错误概念涉及概率所扮演的角色。常听到人们说，演化是以概率为基础的，但是概率并不能产生我们所看到的复杂有机体，这就像是一阵掠过飞机废弃零件回收厂的龙卷风无论如何也无法生产出现代飞机这样的复杂结构。

这个关于演化论的观点同样具有很强的误导性。概率在演化中确实扮演一个重要角色。举个例子，有性生殖深受概率影响（无性生殖也受概率影响，尽管影响程度没有这么大），包括后代将会继承什么样的基因。像小行星撞击这样的意外天文学事件会严重影响环境，通常认为它们对地球上生命的演化发展产生了重要影响。很多地质过程也都有类似的影响，比如一条巨大的裂谷把以前共同生存的有机体群体分隔开来。还有其他无数意外事件，都影响了演化所产生的改变。

毫无疑问，概率在演化中扮演了重要角色。然而重点是，演化论并不认为演化仅通过概率发生。实际上，演化是一个概率与选择共同发挥作用的过程。在前面有关演化基本内容的讨论中，基本内容（2），也就是生存竞争，其实说的就是选择过程。毫无疑问，选择过程和概率共同作用，就可以产生复杂的形式。

让我举个非常简单的例子，来说明随机过程和选择过程共同发挥作用可以产生复杂的形式。思考一下“康威生命游戏”。这是一个对演化过程的电脑模拟，起点是一个基本实体的集合，这些基本实体通常被称为生命细胞，而且通常随机分布。在这些随机分布并分类的生命细胞基础之上，加入了非常简单的选择过程，这个过程决定了新生命细胞是否会出现，或者现有生命细胞是否会消失。尽管这个选择过程出人意料地简单，但是这个结果与最初生命细胞的随机分布组合在一起，通常会形成一个始终进行的、结果不可预测的过程，在这个过程中会出现许多复杂形式，其数量会多到无法想象。举个例子，这个概率和选择过程的组合通常都可以带来很多种多细胞实体。有些多细胞实体会“吃掉”其他实体，有些会以固定的时间间隔产生“后代”，有些会“旅行”（甚至包括长距离旅行），有些会以固定的时间间隔发射出实体来把其他实体“拉”过来，有些则以固定的时间间隔发射出实体来把其他实体推走，等等。

生命游戏于1940年面世，时至今日，已覆盖了一整个研究领域，其研究内容涉及与选择过程同时存在的随机事件如何产生复杂的结构和行为。这个研究领域本身很吸引人，但对我们来说，重点是它说明了复杂结构和行为可以从随机过程中产生，前提是这些随机过程需要与选择过程同时存在，这与演化论中的描述相同。简言之，我们在这一小节开始

时考虑的那一类说法，也就是“诸如在演化论里所能找到的那些随机过程不可能产生复杂有机体”，其实是对演化论的一种根本性误读。

演化论“只是一个理论” 常常可以听到演化论被轻描淡写地总结为“只是一个理论”。在这个简短的小节中，我们将看到，为什么这个说法从某种意义上说是正确的，但是即使从这个意义上说是正确的也没什么大不了。从一个更重要的角度，也就是人们通常使用这个说法时的目的来看，它则是一种误导。

从一个无足轻重的角度来说，这个说法是正确的，从这个角度来看，科学的一切都只是一个理论。就像我们在前面几章中所看到的，在亚里士多德世界观时期，人们认为可以得到绝对确定的科学事实，用我们现在的话来说，也就是这些事实并不仅仅是个理论。然而，我们也同样看到，到了17世纪以后，这种关于科学的观点就被替代了，具体来说，没有人再认为科学里的任何观点是绝对确定的。取而代之的是，我们现在认为最好的理论也就是个理论，也就是说，是我们所掌握的对数据最好的解释，而且如果你用现实主义态度来对待它，你同样会觉得它至少部分反映了现实的样子。但是，现在无论如何已经没有一个科学观点可以说是绝对确定的。因此，演化论确实只是个理论，但是仅仅是从“科学的一切都只是个理论”的角度来说的。

有一个话题与此紧密相连，因而值得注意，那就是与早期科学课程通常所教授的相反，对“假说”“理论”“定律”“原理”等诸如此类的科学术语，不存在得到普遍认可的、明确的使用规则。事实上，这些术语的用法非常广泛。

具体来说，“理论”这个词通常至少有两个截然不同的用法。要理解这一点，让我们来思考两个例子，第一个是弦理论，另一个是相对论。

在本书中，我们并没有讨论弦理论，不过幸运的是，要提出我想说明的一点，只需要一点点背景知识就足够了。弦理论是物理学中相对较新的一个主张，而且像其他理论一样，设计这个理论是为了解释特定的一些数据。值得注意的是，由于没有直接的实验数据支撑，弦理论在很大程度上是推测，因此，即使是这一理论的主要支持者，也承认至少在现有技术条件下，很难想象能有哪种实验设计可以把弦理论的核心观点付诸实践。然而，弦理论是物理学中一个有趣而且可以研究的领域。以后人们可能会发现这个理论可以为物理学带来持续而有价值的贡献，或者也可能像其他很多理论一样，被证明是个死胡同。然而，这个理论恰好说明了“理论”这个词在科学中的一个常见用法，也就是用来指代对数据的一种解释，这种解释目前可能是猜测，还没有得到经验的证实或不证实。简言之，在这个语境里，“理论”这个词用来指代一种有趣的想法，但同时这个想法在很大程度上说是猜测，而且还未经经验证实。

不过，现在，让我们思考“理论”这个词另一个常见但又相当不同的用法。举个例子，思考一下前面几章讨论过的广义相对论。它通常都被

称为“相对论”“相对性的理论”或者其他类似的名字。但是，在这个语境中“理论”一词的用法与其在弦理论语境中的用法就完全不同了。具体来说，与弦理论不同，相对论是一个得到了高度证实的理论。正如在前面几章中讨论过的，相对论的经验支撑是相当多的。因此，与弦理论不同，相对论绝不是猜测，不是未经经验证实的想法。在这个用法中，“理论”这个词被用来指代一种有很多经验支撑的观点，而且毋庸置疑，通常认为这个观点是我们最好的观点，在其所涉及的话题上，这个观点即使不是终极解释，至少也能够很好地解释经验数据，从而使其核心内容在后续解释中很有可能得到保留。

具体到演化论上，这里的“理论”是“理论”这个词的第二种用法，而不是第一种用法。也就是说，这个词在这里的用法与我们谈到相对论时对它的用法相同。因此，把演化论描述成“只是一个理论”是一种误导。相比之下，支持演化论的经验证据的力度非同一般；事实上，演化论的经验支撑几乎可以算是现代科学所有观点中最强的。

人类从类人猿演化而来　接下来要讨论的命题涉及与祖先和后裔有关的演化论中的一些正确观点，这也是我在这一小节中所要讨论的最后一个命题。常常可以听到人们说，根据演化论，人类是由类人猿演化而来的，而且这样说时通常都是想表达对演化论的负面态度。从某个意义上说，这个说法是正确的，但是我认为这并不是这个说法真正想要表达的意思。

需要注意的第一点是，人类并不是从现存的任何一种类人猿演化而来的。现存的与我们关系最近的类人猿是黑猩猩和倭黑猩猩。然而，我们当然并不是从这两种黑猩猩中的任何一种演化而来的，也不是从现存的其他任何种类的类人猿演化而来的，包括大猩猩和红毛猩猩。原因很简单：400万~600万年前，当我们的祖先开始获得我们现在认为是人类独有的那些特点时，任何一种现代类人猿都还不存在。因此，我们就不可能是从现存的任何一种类人猿演化而来的。

下面所描述的才是对我们与现代类人猿之间关系的正确理解。打个比方，思考一下你和某个与你有血缘关系的亲戚（也就是你们之间的关系是通过家庭建立的，而不是婚姻）之间的关系。为了有一个实在的例子，假设我们所思考的是你和你的表姐萨拉之间的关系。绝不会有人说你是萨拉的后裔。相反，正确的情况是，你和萨拉都有一个共同的先人，你们俩都是这个先人的后代。你要往回数几代才能找到这个共同的先人，这取决于你与你的这个亲戚关系有多近。如果这个亲戚是你的亲兄弟姐妹，那么你们最近的共同先人就是父母；如果这个亲戚是你的堂兄弟姐妹或表兄弟姐妹，那么你们最近的共同先人就是你的祖父母或外祖父母。如果这个亲戚是你的曾姑/姨祖母（或曾姑/姨外祖母），那么你得往回数四代才能找到你们最近的共同先人，也就是你的太高祖父母或太高外祖父母。

简言之，正确的观点不是我们从现代类人猿演化而来，而是现代人

类与现代类人猿拥有共同的祖先。不过，这里与前面的例子中往回数一代、两代或三代就可以找到最近的共同先人不同，对我们与任何现代类人猿来说，需要往回数大约25万代，或往回数大约500万年，才能找到最近的共同祖先。

这里简短讨论一点题外话，与我们跟现代黑猩猩的关系相比，我们与其他许多物种的关系实际更近。举个例子，许多属于不同物种的人类曾经存在过，比如尼安德特人。大多数古人类学者（也就是专注于研究人类起源的专家）认为至少其他四个物种的人类存在过，还有些人认为不止四种。从最近的共同祖先的角度来讲，我们与其他种类的人类之间的关系要比与任何现代黑猩猩之间的关系更近。然而，我们是最后一种生存下来的人类，我们那些关系更近的亲戚，也就是其他“物种”的人类，现在都已经灭绝了。

在结束这个关于祖先的小节前，有一个演化论的特点值得澄清。你和我，还有所有人类，与地球上的所有 生命体都有联系。也就是说，我们与这个星球上每一个 有生命的物体都拥有一个共同的祖先。正如我们在前面提到过的，现存与现代人类亲缘关系最近的生物是黑猩猩和倭黑猩猩，而这仅仅意味着人类与这些猩猩之间最近的共同祖先比人类与其他生物物种之间最近的共同祖先在时间上距离我们更近一些。大猩猩是现存与人类亲缘关系第二近的生物，但是两者之间最近的共同祖先要比我们与黑猩猩之间最近的共同祖先更远。随着我们所选的物种与人类之间的亲缘关系越来越远，我们要找到两者之间最近的共同祖先就需要在演化历史中回溯得越来越远。而这不仅适用于动物，人类和树木也有最近的共同祖先，不过我们需要回溯到非常久远的时候才能找到。人类与细菌和病毒之间的关系，甚至与地球上任意其他物种之间的关系，都是如此。地球上每一个有生命的有机体都是我们的亲戚，每一个曾经在地球上出现过的有机体（只要我们所知道的）也都是我们的亲戚。

| 19世纪早期至今演化论的发展 |

在本章的第1节中，我们讨论了演化论的核心内容，也就是（1）变化（那种可以传递到后代的变化）和（2）生存竞争（这种竞争可以决定某些变化是否能在后代中得到保留）。与这两个内容相关联的最著名人物就是查尔斯·达尔文（1809—1882）和阿尔弗雷德·罗素·华莱士（1823—1913）。这一节的主要目标是概括介绍演化论的发展历史。

我们将首先研究达尔文和华莱士的核心观点，然后分别大致探讨一下演化论在1850～1900年、1900～1950年和1950年至今的发展。

达尔文和华莱士的研究工作

达尔文和华莱士的核心观点并不完全是前所未有的，因为在他们之前，曾有过几个人提出过类似的想法。简单列举其中的两人，一个是达

尔文的祖父伊拉斯谟斯·达尔文曾（多少有些含糊地）暗示过与前面所讨论的核心内容相似的想法。与此类似，在达尔文和华莱士发表关于演化论的核心著作之前30年，一位名叫帕特里克·马修的造船木料专家同样曾明确表达了与前面的（1）和（2）相当相似的原理。然而，达尔文祖父主要通过他所发表的部分诗作来表达观点，而不是任何形式的科学出版物。马修则是在一本介绍海军用最佳木料选择的专著中提到了这些原理，除此之外，他再也没有推广过这些核心观点，也没有对它们进行过辩护（至少在达尔文和华莱士的关键著作出版之前没有这么做）。简言之，达尔文和华莱士即使不能算是最早发展出这些核心观点的人，至少也可以算是率先真正对这些观点进行完整表述和辩护的两人。在这两人之间，达尔文的功劳应该更胜一筹，接下来我将解释为什么这样说。

达尔文观点的发展　在这个简短的小节里，我们将讨论一下达尔文观点的起源，在随后的一个小节中，我们将讨论华莱士观点的起源。我应该指出，这两个小节的目的就是迅速勾勒出某些促使他们取得发现的事件的概貌。近些年，一些对达尔文和华莱士著作进行全面、详尽描述的书籍陆续面世，如果你希望得到一些额外信息，在本书最后的章节注释中，你可以找到推荐的阅读书目。

在19世纪30年代早期，达尔文接受了一份工作邀约，随HMS小猎犬号进行一段长途环球旅行。旅行开始的时候，达尔文所秉持的都是当时相当标准的观点，比如，上帝创造了所有物种；值得注意的是，他还相信每个物种都有其本质特点，正是这些本质特点定义了这个物种。除了关于物种的观点，达尔文还秉持着其他许多在当时深入人心的观点，比如物种是不可变的，也就是说物种都不会发生变化，新的物种也不会因为演化或其他任何自然过程而出现。

在小猎犬号上时，达尔文做了大量观察与笔记，收集了数量众多的标本和化石。这些标本和观察结果使他意识到，不同的有机体个体，即使同为一个物种，也会展现出多种令人震惊的变异。因此，尽管达尔文在这段旅行开始时秉持着当时的标准观点，也就是每个物种都有一系列核心特点，但是在旅行过程中，他开始对这个观点产生了质疑。也就是说，我们可以看到达尔文开始意识到了基本内容（1）。

回到英国后，以及在接下来的5年时间里（大约是19世纪30年代的后半段），达尔文整理了一系列笔记，开始研究“物种可能经历‘演化’”的观点。在这些笔记中，我们可以看到，达尔文开始相信新物种确实会出现。不过这也使他遇到了问题：这些新物种是如何出现的。于是达尔文开始努力思考这个问题。

我们在前面提到过，达尔文是因为在小猎犬号上的工作而意识到了基本内容（1）。在19世纪30年代晚期，达尔文阅读了托马斯·马尔萨斯（1766—1834）所著题为《人口论》的著作，这有助于他认识到基本内容（2）。马尔萨斯观点的核心部分是一个观察结果，涉及植物和包括人类在内的动物，即：植物和包括人类在内的动物通常繁殖出的后代

都会超过环境所能承载的数量。马尔萨斯主要用这个事实来支撑某类特定的社会政策。不过，达尔文却意识到这个事实可以帮助自己解决当时所关切的问题。“有机体繁殖数量超过环境承载能力”会带来生存竞争。同时考虑到自己在小猎犬号上就已经发现“有机体具有数量众多的变异”，达尔文意识到，这两个因素共同的结果将是具有不同变异的个体获得成功的程度将会不同。简言之，此时，达尔文就得到了基本内容（1）和（2）。这使达尔文得到了一直在寻找的对“有机体种群如何随时间发生变化”的解释。根据这个解释，很容易就可以意识到，只要时间足够长，（1）和（2）带来的变化经过缓慢累积就可以使生物体发生巨大变化，大到产生一个足以被列为新物种的有机体种群。

这个过程就是达尔文后来所命名的“自然选择”。这个术语潜在的意思十分直接明确。就像饲养员会选择具有某些特性的有机体进行饲养繁殖，从而人为地在家养动物上产生人们所希望的特点，大自然也会“选择”某些特点，这些特点往往更有利于生存和繁殖。正如饲养员所进行的这种选择可被命名为“人工选择”，（1）和（2）中总结出的自然过程所产生的选择就可以被称为“自然选择”了。

简言之，到了大约1840年，达尔文已经找到了一个自然的、且不受神的旨意安排的机制来解释有机体种群如何经历巨大变化，以及新的物种如何出现。达尔文解释的核心内容实际上就是前一节所讨论的基本内容（1）和（2）。达尔文确信自己所提出的将是一个无比重要的观点。

然而，达尔文并没有发表这个观点。他仅将这个重要观点分享给了几个信得过的朋友。1844年，达尔文确实完成了一部将近200页的短（根据他自己的标准来看）著作来解释自己的核心观点，并对这些观点进行了论证，提供了有关证据。不过，达尔文并没打算将这份手稿出版，至少没有打算在他有生之年出版。事实上，达尔文把手稿藏了起来，并叮嘱妻子，如果他意外去世，就一定要将手稿出版。

从达尔文第一次意识到基本内容（1）和（2）到最终付诸出版，一共过去了20年。在这段时间里，也就是19世纪40年代晚期和19世纪50年代的大部分时间，达尔文一直在不间断地进行研究（达尔文始终在工作，甚至去世那一天也在为某个课题进行研究）。这段时间的研究成果，大部分都为达尔文后来出版的著作做出了重要贡献，其中最值得注意的是，这些研究使达尔文获得了大量经验数据，从而使他可以支撑关于演化论的著作。

简言之，当达尔文最终打算发布自己的重大发现时，他已经可以拿出大量数据来支撑他的观点，也正是这些数量众多的支持数据使达尔文与众不同。其他人可能也有类似于（1）和（2）中所总结的关键观点，但是达尔文不仅有这些核心观点，还有支持这些观点的数据。

华莱士观点的发展　19世纪40年代晚期，当达尔文忙于许多其他课题时，阿尔弗雷德·罗素·华莱士开始了他的第一次航行，他后来进行了

多次这样的航行，至少从某些方面上说，都被认为是对达尔文随小猎犬号航行的纪念。不过，达尔文与华莱士之间也有显著的差异。华莱士不像达尔文那样来自殷实的家族，他缺乏接受大学教育所需的社会关系，因而无法负担学费。与达尔文不同，华莱士得自食其力，他主要依靠将收集到的标本寄回英国，卖给富裕的收藏家。

从某些方面来说，华莱士也可以说是很不走运。举个例子，在旅行4年后，华莱士已经在笔记本上写满了观察记录，并收集了各种标本，然而在返回英国途中，华莱士所乘坐的船却起火沉没了，一起沉没的还有他大部分标本（除了之前已经寄回去的部分）和笔记本。

毫无疑问，就像达尔文一样，在这次航行中华莱士所观察到的有机体中种类繁多的变异让他感到震惊，特别是其中有些生物体，根据当时广为接受的观点，本应该具有统一的核心特点。同样毫无疑问的是，此时华莱士已开始质疑当时人们广为接受的观点，与达尔文一样，他开始认为有机体种群确实会随时间经历大量变化，而且新物种可能会出现。

然而也像达尔文一样，华莱士此时并不能解释这些变化如何发生，或者解释新物种如何出现。不过，他已经笃信新物种确实会出现，因此在1855年发表了一篇短论文来阐述这个观点，尽管论文中并没有解释新物种如何出现。换句话说，与达尔文在其科研生涯中的这个阶段一样，华莱士此时只掌握了拼图中的第一块拼板，也就是基本内容（1）：有机体表现出大量变化。

根据华莱士的记录，他在1858年年初的一次后续航行中（想想他的第一次航行，遭遇船起火沉没，仅靠救生筏在海中漂流了一周以后才获救，必须承认，华莱士是很有韧性的）意识到了基本内容（2）。在这次航行中，华莱士因感染疟疾而高烧，持续多日卧床不起，但不管怎么说，华莱士表示他偶然发现了基本内容（2），而且意识到把这与他已经注意到的变化放在一起，就可以对有机体种群的变化给出一个解释了。同时，与达尔文一样，华莱士意识到这个机制可以解释新物种是如何出现的。

高烧痊愈后，华莱士很快写出了一篇短文（大约20页）来解释其核心观点。机缘巧合之下，华莱士选择将这篇短文寄给达尔文。我说机缘巧合，是因为华莱士不可能知道达尔文也有类似的观点，也不可能知道达尔文会认同这些观点，更不可能知道达尔文早在20年前就已经开始秉持这些观点了。

华莱士把论文寄给达尔文似乎是因为达尔文的社会关系。回忆一下，华莱士和达尔文所处的社会阶层截然不同。达尔文与英国科学圈里最著名的人物都有着密切联系，而华莱士则没有这些关系。因此，在论文前面附的信函里，华莱士询问达尔文是否可以将这篇论文转交给那些著名人物。

达尔文收到华莱士的论文后，感到十分困扰。华莱士的论文题目是《论变种无限偏离原始类型的倾向》，这已经透露了很多内容。在这篇短论文里，华莱士很好地总结了有关变化的核心基本内容（1）。具体来说，华莱士的观点（达尔文也有相同的观点）是，种群可以表现出无限种与该种群祖先不同的变化。请注意，这完全有悖于当时的主流观点，也就是物种有绝对基本核心特点。根据华莱士/达尔文的观点，关于物种的标准观点是完全错误的，物种并没有一套确定的基本核心特点。相比之下，一个种群的个体可以无限变化，就像题目所提示的。

因此，关于核心基本内容（1），也就是变化所处的核心地位，华莱士论文里的内容与达尔文在过去20年间所想和所写的完全一脉相承。至于基本内容（2），也就是生存竞争导致具有不同变异的个体在能否存活的问题上出现差异，华莱士在论文中所表达的同样与达尔文在过去20年间所想和所写的完全一致。

事实上，在这篇论文里，华莱士甚至使用了达尔文通常使用的短语，也就是我在这一章里所使用的短语“生存竞争”。简言之，华莱士在论文中所表述的观点和达尔文在其更早创作但并没发表的著作中所表述的观点相似程度很高，甚至已经无法区分了。

此时的形势有些微妙。达尔文肯定是先于华莱士得出这些核心观点的，但他没有准备任何可发表的内容。长话短说，到了1858年年底，这个微妙的情形多少得到了些改善。此时，在达尔文一些朋友的安排下，华莱士的论文和达尔文1844年的手稿以及新准备的一篇观点总述，共同在一个伦敦科学协会即将召开的会议上发表。这个结果也多少算是皆大欢喜。1858年的这次发表是演化论核心观点首次公布于众。

然而，华莱士和达尔文核心观点的发表并没有激起多少水花，几乎没有引发公众讨论。不久之后，达尔文决定对这些核心观点再做一次更深入的介绍和解释，随后形成了他命名为《论通过自然选择的物种起源》的著作。

达尔文的《物种起源》　正如前面提到过的，在发表了自己和华莱士的理论之后，达尔文开始着手准备一部适合出版的书稿。这部书稿日后成为非常有影响力的著作，这一小节的主要目标就是对这部著作进行简要概述。

在过去10年中的多个时间段里，达尔文一直在准备一个详细而全面的学术性介绍来呈现自己的核心观点，其中包含对支持这些观点的经验数据的详细介绍和通过几十年研究所积累的图片。这部达尔文有时称之为“大作”的书稿已经有上百页了，每页都是密密麻麻的文字，但还远没有完成。达尔文很明智地选择了一个新的角度来介绍自己的观点，这个新角度更加简单易懂，因而目标受众更为广泛。这部著作在1859年年末完成并出版，题目为《论通过自然选择的物种起源》（现在这部著作的标准名称是《物种起源》，有时也仅仅简称为《起源》）。

要清楚地表述一个理论是一回事，就像华莱士通过1858年的20页论文所做的，而解释论证一个理论并提出令人信服的论据则是另一回事了，但这正是达尔文所做的。在我看来，《物种起源》是与我们在前面几章中讨论过的牛顿的《原理》都是处于关键地位的著作。在《原理》中，牛顿循序渐进、逐步深入地展示了支持他核心观点的论据，因此，当你读完《原理》时，你就已经感受到了这些新观点令人惊叹的解释能力。达尔文的《物种起源》也是如此。达尔文同样是逐步深入、小心谨慎地提出了其核心观点，因此，当你读完这本书，就像读完《原理》时一样，你就应该已经感受到了达尔文这些新观点令人印象深刻的解释能力。（用《物种起源》最后一章中常被引用的话来说，达尔文将他的书称为“一个漫长的论证过程”。这个描述非常贴切。）

在组成《物种起源》的14章中，我们前面所关注的核心观点都包括在前4章中，因此接下来我将讨论一下这最初的几章。在第1章“驯养过程中的变异”中，达尔文关注的是一个关于人工选择的话题，也就是通过选择性繁殖，刻意在家养动物上培育某些特点。关于这个话题几乎不存在任何争议。在这一章里，达尔文通过广为人知的例子强调在家养动物中，变异之广泛令人惊讶，而且人工选择可以带来几乎无穷无尽的变异。

下一章“自然中的变异”，关注的是核心基本内容（1），也就是要表明，事实上，动植物的自然种群中也有令人惊叹的变异。与其他地方一样，在这里，达尔文利用了他数十年间积累的观察结果和笔记来表明自然界中变异的数量之多。

接下来，达尔文在题为“生存竞争”的第3章中重点关注了核心基本内容（2）。这里的推理和证据也同样几乎是毋庸置疑的。因此，到了第3章，达尔文已对核心基本内容（1）和（2）都进行了令人信服的论证并提供了支持证据。

就像我们在本章第1小节中提到过的，不管什么时候，只要有了这两个基本内容，随着时间的变化就一定会发生。在第4章“自然选择”中，达尔文明确了这一点。他基本上是通过把自然选择和第1章中讨论的人工选择进行明确对比而达到了这一目的。也就是说，就像人工选择会在家养动物中造成大量变化，我们在自然选择的过程中也应该会看到相同的情况，也就是基本内容（1）和（2）会使野生有机体种群也产生大量广泛的变化。同样根据自己的经验和数据，达尔文认为对于我们在野生有机体中看到的各种关系，这种解释比其他任何解释都更令人信服。

简言之，到第4章结尾时，达尔文已经令人信服地表明，自然选择肯定会发生，自然选择的效果会与人工选择相似，也就是产生可以无限偏离其祖先的有机体。这部著作剩余部分涉及许多不同的话题，比如对这一理论的反对意见、地球年龄的问题、是否已有足够长的地质时间让小变化累积形成我们现在所看到的种类繁多的有机体，以及化石记录的

不完整性问题，等等。

就像前面强调过的，华莱士和达尔文的核心观点与当时某些广为传播的观点相矛盾。科学界需要像《物种起源》这样的一部著作来说服人们，让他们知道这些长期以来广受认可的观点是错误的。达尔文积累了大量数据和广泛的事实，成为唯一一个可以完成这样一部著作的人。

演化论概述，1850～1900年

《物种起源》的接受情况　《物种起源》出版后异常畅销，达尔文有生之年就看到了这本书再版6次，每次再版都有数次印刷。除此之外，这部著作也被翻译成英语之外的多种语言，很快就变得非常著名。

然而，在19世纪接下来的时间里，以及从某种程度上说一直到20世纪头10年，达尔文的核心观点只有一部分得到了认可。达尔文认为演化会发生，也就是有机体种群会随时间发生变化以及新物种会出现，这些都得到了认可。这本身就是一个巨大成就，因为在达尔文所处的及在此之前的时代，普遍的观点是物种是不会发生变化的，新的物种也不会出现。

然而，达尔文和华莱士关于“自然选择是演化发生的主要机制”的观点，一直到20世纪头几十年都没有得到广泛认可，这可能让人感到意外。后来，达尔文和华莱士这个观点被证明是完全正确的，也就是自然选择是演化背后主要的推动力量。现代演化论提出了其他几个可以促使演化发生的方式（我将在下面的小节中对这些方式进行概述），不过即使是今天，自然选择仍然被认为是到目前为止演化背后最重要的因素。

在19世纪后期，人们不愿意接受自然选择的观点，能够有助于我们理解这一点的做法是提醒我们自己注意，在那个时期，人们对有机体的特点如何从一代传递到另一代几乎是完全一无所知的。想想现在，即使你没有上过生物课，也不了解遗传知识，但仍很可能至少知道有机体的特点从一代传递到下一代与某些涉及基因和DNA的遗传“单元”有关。

不过，这些知识中的绝大部分在20世纪之前都不为人所知，甚至没有人对这些知识进行过猜测。相比之下，关于遗传如何发生，总的来说，当时更为主流的观点通常都与“演化主要通过自然选择发生”的观点互不相容。当时，存在几种关于遗传的观点，其中两种特别值得一提。第一种可以被称为融合遗传 观点，第二种通常被称为关于遗传的拉马克主义 观点。

融合遗传观点基本上就像其名称所表明的，核心观点是有机体的特点从一代传递到下一代涉及亲体特点的融合。举个例子，如果父母之中有一人很高，而另一人很矮，通常的观点是，两人的子女将获得高矮融合后的一个特点，因此通常会是中等个头。后来人们发现这个观点很有误导性，但是如果没有我们从新近科学发现中所获得的知识，这看起来

似乎是对遗传很合理的一个解释。

值得一提的是，这个融合遗传观点与自然选择的观点是相互矛盾的。假设一个有机体通过某种方法获得了一种能增强其生存能力的特点；同时，假设也许从某种程度上说，由于具有了这个特点，这个有机体生存了下来并进行了繁殖。如果这个有机体与另一个不具有这种有利特点的有机体为伴，产生了后代（如果这种特点是新特点，那么这种情况就非常有可能发生），那么根据融合遗传观点，这个后代将仅仅获得已经变弱了的新特点，也就是这个特点已经与另一个并不是特别有利的特点融合过了。在接下来的每一代中，这个有利特点都将被进一步稀释削弱，很快就会看不到这个特点继续给有机体带来任何优势了。

简言之，自然选择与融合遗传观点不能很好地拼合在一起。达尔文早在19世纪30年代末期就意识到了这个潜在问题，远早于撰写《物种起源》的时间，但是却始终没能对此给出一个完全令人信服的回应。后来科学的发展证明，正确解决这个问题的方法是放弃融合观点，但这一解决方法直到20世纪才得到人们的理解。

在这一时期，关于遗传的另一个值得注意而又普遍的观点（事实上可以追溯到很早以前）是拉马克主义观点，其名字来自于让·巴蒂斯特·拉马克（1744—1829）。拉马克是法国一位很有影响力的生物学家，在1800年左右，在“新物种可以出现”这一观点上，他成了为数不多的早期维护者之一。拉马克观点中的一部分是关于后天习得特性的遗传。其核心观点是如果有机体在其有生之年习得了某种特性，比如通过重体力劳动具备了结实的肌肉，那么这些后天习得特性将可以传递到下一代。

如果关于遗传的拉马克主义观点是正确的，那么自然选择就几乎没有发挥作用的空间了，尽管很多秉持拉马克主义观点的人认为自然选择可能发挥某些小作用。然而，根据这个观点，后天习得特性的遗传是有机体获得新的有利特点的主要机制，自然选择就只能发挥很小的作用，或者完全无法发挥作用了。

顺带提一下，必须注意的是，拉马克在当时是一位重要人物，而且在其漫长而又成果卓著的科研生涯中做出了许多重要贡献。在后天习得特性遗传的领域，他的观点后来被证明是错误的，而且很不幸的是，现在对拉马克的记忆和描述大多是负面的，在很大程度上就是因为这个错误观点。然而，这对拉马克来说是相当不公平的。在那个时代，即使是他这个对后天习得特性的观点也是相当合理的（比如，达尔文就接受了这个观点，尽管他认为这与自然选择所发挥的作用并不能相提并论）。

融合遗传观点和拉马克主义观点并不是当时关于遗传的全部观点，但却是最普遍的两个，而且可以说明当时已有的遗传观点通常并不会把自然选择当作是演化背后的主要机制。

总而言之，在19世纪下半叶，很大程度上说是因为《物种起源》的

出版，很多观点都得到了普遍接受，包括演化确实会发生，新物种确实会通过某种机制出现。然而，能够使新物种出现的这个机制却通常被认为是自然选择之外的某种机制。因此，这就为研究“这种机制可能是什么”打开了大门。20世纪的科学家们最终会意识到达尔文和华莱士是正确的，自然选择是关键。接下来，我们会对这些20世纪的发展进行探讨，不过在那之前，我们将先简要探讨一下19世纪下半叶的另一项关键研究工作，也就是孟德尔关于遗传的研究。

孟德尔遗传学　大约就在达尔文准备出版第一版《物种起源》的同一时期，格里高·孟得尔（1822—1884）进行了一系列育种研究，其中重点关注了一种特定的豌豆。孟德尔于19世纪60年代中期，也就是《物种起源》刚出版不久后，发布了他的研究结论，其中就包括现在被认为是关于遗传发生机制的重要观点。孟德尔的研究现在相当出名，但在当时并非如此，实际上差不多是到了20世纪初，孟德尔研究的重要性才完全得到认可。接下来，我将简要总结孟德尔关于遗传的主要观点。

第一，孟德尔的观点刚好与当时盛行的观点相悖，他证明了至少对某些特性来说，遗传并不是以融合的方式发生，相反，至少某些特性需要经由某种遗传单元才能传递到后代，而这种单元在从亲体传递到后代时保持不变。（这些单元就是后来所说的基因。）

第二，孟德尔的研究表明，至少对某些特性来说，就其中每一个特性而言，后代都是从两个亲体分别继承了一个单元。

第三，孟德尔表明了，同样还是至少对某些特性来说，即使后代没有表现出亲体所具有的这些特性，但这些特性仍然可以出现在后续世代上。换句话说，有机体可以具有自己没有表现出来的特性单元，并把这些单元传递到可以将其很好地表现出来的后续世代上。（孟德尔在这里所意识到的差异后来被描述为有机体基因型的差异。从根本上说，基因型是一个有机体从其亲体所继承的所有遗传单元，而一个有机体的表现型就是这个有机体所表现出的所有特点。举个例子，一株豌豆苗的表现型之一可能是矮，也就是这株豌豆苗可能实际上很矮，然而，作为其基因型的一部分，它可能具有高的遗传单元，只是没有表现出来。）

在前面的讨论中，我反复提到“至少对某些特性来说”。孟德尔的研究相当严密，表明至少对他的研究所涉及的有限数量的特性，毫无疑问，前面提到的观点是成立的。不过，还有无数特性并没在他的研究范围内，对这些特性，继续坚持融合遗传理论似乎仍然是合理的。部分由于这个原因，孟德尔的研究在他有生之年虽然并不是完全默默无闻，但其深意总的来说并没有被发掘，因而在其有生之年也并没有产生巨大影响。

然而，1900年孟德尔的研究被重新发现，当时还出现了关于遗传的新研究，在这个背景下，孟德尔的研究被认为是对理解遗传的一个重要贡献，而且时至今日，仍是如此。

演化论概述，1900～1950年

在这一节，我们将粗略研究一下20世纪上半叶的发展。到20世纪初，孟德尔的研究被重新发现，对于如何解读他的研究以及自然选择扮演怎样的角色（如果确实有这样一个角色），出现了激烈争论。我们的讨论将从对这个争论的概述开始。

20世纪早期：渐进主义VS突变主义 正如前面提到过的，在《物种起源》问世后，“演化会发生”的观点得到了广泛接受，不过，有关演化发生的方式，却存在大量争论，从19世纪晚期，一直延续到20世纪最初的几十年，关于演化发生的方式，形成了两大主要阵营。按照通常的做法，在这一小节中我将分别用“渐进主义”和“突变主义”来指代这两个阵营。

这两大阵营之间的争论非常激烈，除了对推动演化发生的主要机制存在争议，两大阵营还在对待科学的哲学态度上存在不同意见，比如在理论中使用无法实际观察到的理论实体是否合理，或者在严密的科学中是否应该避免这样的实体。两大阵营的分歧还在于演化发生的模式，也就是，演化变化是一小步一小步逐渐发生的，就像达尔文所认为及渐进主义者所认同的那样；还是以一种不连续的、大跳跃式的方式发生的，也就是突变主义者所相信的那样（“突变”的基本意思是跳跃或大的运动，因此用来给这个阵营命名）。两大阵营进行研究的基本方法也有所不同，其中突变主义者的重点是在实验工作上。这一阵营进行了遗传领域某些重要的早期实验研究，率先使用了现在普遍使用的果蝇作为实验动物。他们同时还创造了许多现在常见的术语，比如“遗传学”“基因”和“突变”。相比之下，渐进主义者通常都是有经验的数学家，尤其擅长统计分析。因此，他们的方法通常都更偏向理论，对于演化在什么情况下能发生、什么情况下不能发生，这一阵营提供了大量具有重要意义的数学结果。

正如前面提到过的，也是科学中经常出现的情形，这两个阵营之间发生了激烈的争论。当孟德尔的研究在20世纪初被重新发现后，两个阵营都意识到了这个研究的重要性，但对它的解读却非常不同。简单来说，突变主义者认为孟德尔的研究结果是一个模型，能够表明一切遗传是如何发生的，但同时认为这个模型不能与“演化的发生是自然选择带来的微小变化缓慢累积的结果”的观点同时成立。因此，他们认为演化一定是间断的、以大幅不连续的跳跃形式发生的。简言之，突变主义者认为孟德尔遗传模型代表了遗传通常是如何发生的，这种观点导致他们不能赞同“自然选择在演化中发挥主要作用”的观点。

相比之下，渐进主义者认为自然选择是演化背后的主要推动力量，认为演化是通过微小变化缓慢累积而发生的。不过，他们同样也接受突变主义者的一个观点，那就是孟德尔遗传学与自然选择不能同时作为演化发生的主要方式，因此，渐进主义者认为孟德尔模型只能适用于数量有限的几个特性。简言之，渐进主义者把自然选择看作演化背后的主要

机制，这种观点导致他们无法把孟德尔的研究成果看作是可以表明一切遗传的模型。

大致总结一下，一个阵营（突变主义者）认为孟德尔模型适用于一切遗传，并据此得到了自然选择不可能发挥主要作用的结论（后来的研究证明这个结论是错误的）。另一个阵营（渐进主义者）认为自然选择是演化背后的主要机制，而得出的结论是，孟德尔模型不可能是描述遗传通常如何发生的模型（后来的研究证明这个结论也是错误的）。简言之，后来人们发现两个阵营都有一部分观点是正确的，一部分是错误的。

在20世纪的最初几十年间，标准看法是突变主义者和渐进主义者的观点不可能相互协调。后来，人们意外发现，这两个阵营的某些核心观点实际上并不矛盾，这就带来了接下来的一个重要发展。也就是说，因为认识到了这两个阵营的某些观点并不矛盾，而出现了通常所说的“新综合”或“现代综合论”。在接下来的一个小节中，我们的重点就是对现代综合论进行简要概述。

现代综合论 1920年之前不久，罗纳德·费希尔（1890—1962），也就是后来所说的现代综合论的早期核心人物之一，开始探索突变主义者和渐进主义者之间的僵局是否真的如表面上看起来那样难以打破。顺带提一下，费希尔并不是第一个进行类似尝试的人，但却是其中最成功的一位。同样，长话短说，费希尔成功证明了突变主义者和渐进主义者这两大阵营共同认可的一个观点是错误的，也就是“‘演化主要以自然选择的方式进行’与‘孟德尔遗传学可用于一切遗传’不能同时成立”的观点是错误的。

在接下来将近10年的时间里，以费希尔为核心，发展出了一套以数学为基础的研究方法，根据这个方法得到的成果，在很大程度上与渐进主义者阵营之前的研究成果相一致，然而同时也可以与突变主义者阵营的实验发现相符合。重点是，费希尔于1930年出版了其在这一领域的核心著作《自然选择的遗传理论》，在这本书中，费希尔阐明，与广为接受的观点相反，孟德尔遗传学与“自然选择是演化背后的主要机制”的观点其实是完全一致的。

费希尔以及当时其他几位核心人物的著作，共同为演化研究中的一个重要领域提供了基础，这个领域通常被称为“群体遗传学”。简单来说，群体遗传学关注的是饲养有机体群体的遗传组成，特别是群体中基因分布会如何随时间发生改变，也就是群体如何演化。

群体遗传学的早期研究者发现并研究了4种推动演化的因素，也就是自然选择、遗传漂变、基因流动和基因突变。这4个因素至今仍被广泛认为是演化发生的4种机制，并被广泛研究。我们已经讨论了自然选择，通常的共识是自然选择是演化发生的基本机制。接下来是对演化中其他3个因素的简要描述。基因漂变指的是一个群体基因组成由于随机

事件而产生的变化，比如某个群体的大部分个体在一次自然灾害中丧生，这样一个随机事件对这个群体基因组成所产生的影响就是基因漂变。基因流动指的是群体基因组成由于迁徙发生变化，比如，大约500年前，大量欧洲人迁徙到北美洲，形成了新的基因组合。最后，突变指的是由辐射和影响DNA的化学制品等因素造成的DNA改变所导致的变化。

群体遗传学家和其他科研人员的研究工作共同带来了一系列实验结果和数据，所涉及的范围特别广泛，从对自然环境中群体进行研究的野外作业，到利用果蝇和其他实验动物进行的实验室对照实验，再到可以表明演化因素影响的数学结果，以及其他许多研究领域。正如在前面提到过的，这一系列实验结果和数据现在通常被称为现代综合论，而且这些实验结果和数据把演化理论变成了一个统一的整体，几乎涵盖了生物研究的所有领域。正如群体遗传学的核心人物费奥多西·杜布赞斯基（1900—1975）于1973年发表的一篇文章中经常被引用的标题所言，“如果不从演化的角度来思考，生物学的一切都是没有意义的”。

20世纪早期遗传学物理基础研究的简要描述　我在前面提到过，几乎每个人，就算是没有上过生物课或仅有最少量的生物学背景知识，都至少大概知道遗传的物理基础涉及某种遗传单元，以及染色体、基因和DNA都与此相关。特别是在过去100年间，我们对此的理解发生了令人印象深刻的发展。这个简短的小节将概括描述一下20世纪上半叶的某些早期研究。

染色体的存在和它们在细胞分裂过程中的分配方式于19世纪晚期首次被发现，到了20世纪初，研究人员猜测染色体可能与遗传有关。很快，这个猜测就被证明是正确的。几乎与此同时，“基因”这个词被创造出来，用来指代遗传单元，不久以后，研究就表明不管基因会有怎样的物理结构，它们一定都位于染色体上。

另外还有两个发现，对日后最终成为分子遗传学的研究领域的起步发挥了关键作用，因此也值得一提。到了20世纪30年代，研究表明染色体包含DNA。对DNA结构的发现最终成为搞清遗传所涉及的分子过程的关键。除此之外，蛋白质被认为是造成不同有机体结构和功能差异的核心因素，到了20世纪40年代晚期，研究表明基因肯定以某种方式提供了蛋白质编码的方法。

因此到了1950年左右，遗传所涉及的核心结构，已经具备了大致轮廓。20世纪50年代早期，DNA的结构被发现，随后DNA为蛋白质编码的方法也被发现，这两个发现打开了20世纪下半叶全新而又卓有成效的研究道路。

演化论概述，1950年至今

20世纪50年代早期，DNA的分子结构被发现，从其结构来看，DNA

似乎很有可能在遗传中扮演核心角色。很快，DNA就被证明确实为使生命成为可能的蛋白质提供了基础遗传编码，而且从很大程度上说，这也解释了为什么不同有机体和不同物种之间存在差异。一个关键研究项目是研究DNA如何为蛋白质编码，尽管仍有大量细节还有待完善，但是到了20世纪60年代中期左右，人们已经对遗传分子基础概貌有了很好的理解。

另一个巨大变化是在20世纪60年代末期和20世纪70年代初期，随着限制酶的发现而发生的。这些限制酶可以在DNA特定的位置上将其切割，因而成为一个全新而又特别有用的研究工具。限制酶使研究人员可以对DNA按需切割和重组，把基因打开或关闭，从而更好地理解基因的功能。限制酶还使人们实现了对DNA和基因的测序（也就是，限制酶使人们可以得到详细的、分子级的基因结构），并为科研人员开启了其他多种多样的研究领域。这反过来使人们得以进一步对生物体的整个基因组（也就是一整套基因）进行测序。值得注意的是，到了20世纪90年代初，人类基因组计划已基本上确认了所有的人类基因结构，且准确性极高，其他类似的研究已确认了许多其他复杂生物体的整个基因结构。关于种类极其多样的生物体详细的基因组成，我们现在所掌握的信息，数量之惊人，怎么描述都不为过，而且每天都有大量的新信息出现。

正如前面提到过的，在20世纪上半叶，现代综合论表明了演化理论是如何将广泛的生物学研究领域统一起来的，其中所涉及的生物学家，有的人在野外研究生物体自然群体，有的人在实验室进行对照实验，还有人则是以数学为基础进行研究，所涉及的研究课题也十分广泛，从已灭绝的生物体，到人类起源，再到其他多种领域。20世纪下半叶分子生物学的出现更为现代综合论带来了数量惊人的新成果。

| 结语 |

在本章的第1节中，我试图以一种易于接受的方式对演化的核心部分进行描述，同时对演化是什么、什么不是演化进行澄清。在第2节中，我回顾了演化理论的发展历程，从达尔文和华莱士的研究一直到今天，重点关注的是演化理论如何为生物学中的许多研究领域提供了核心因素。

在过去的150年间，我们所获得的关于人类起源和生命起源的信息，怎么描述都不为过。这是一个伟大的时代。在这一章中，我们所关注的主要是演化论的基本事实和发展历程。然而，就像在本章开头我已经提到过的，演化论带来了一些难以理解且具有争议的命题，这些命题相对更哲学性和概念性。在下一章中，我们将对其中某些难题进行探讨。

[1] 演化（evolution），本意为随时间发生变化，又译作“进化”。在本书中，作者认为变化没有高低之分，而人类也只是世界上现有上千万物种中的一种，故译为“演化”，以顺应作者观点。

第28章　演化的哲学与概念影响

在前一章中，我们所关注的是相对没有争议的话题。我们探讨了演化论的基本内容，包括演化理论是什么、不是什么，另外，还对演化理论的发展历史进行了概括梳理。在本章，我们将探讨前一章中所讨论内容的某些影响。这些影响是复杂而有争议的，我们将看到，演化论迫使我们不得不面对某些命题，而这些命题中的某些方面让很多人都觉得不舒服。本章的主要目标就是了解这些命题。

毫不出乎意料的是，演化论提出的问题之多，远远超出我们在单独一章之中所能讨论的数量。因此，接下来，我选择重点讨论我认为最有价值的两个问题，也就是演化论对宗教观点的影响和对道德的影响。

| 对宗教的影响 |

这一节的主要目标是探讨演化论对宗教信仰所产生的影响，以及对于这些影响的几个不同观点。让我们从背景信息开始。

背景

回忆一下，在亚里士多德时代，“上帝”，或者某种类似上帝的事物，是用来解释天体持续运动所必需的概念。因此，上帝，或者某种类似上帝的事物，在关于宇宙如何运转的一个核心科学理论中扮演了重要角色。

然而，正如我们已经看到的，随着17世纪新科学的兴起，天体运动完全被解释为一种自然现象，在很大程度上说是惯性定律和万有引力共同作用的结果。简言之，在17世纪，我们发现不再需要用上帝或神明这样的概念来解释在过去将近2000年时间里一直由它们所解释的事物。

因此，17世纪的发现对宗教的影响并不是微不足道的，因为这些发现使宇宙的日常运转脱离了上帝或其他神明。然而，尽管如此，一个完全依靠自然的解释仍然难以想象。很多人，比如威廉·裴利（1743—1805），认为有生命的有机体都有明显的结构和设计，这说明其背后一定有一个设计者。在其最为人所知的论证过程中，裴利利用了钟表需要钟表匠的比喻，也就是如果我们拿到一块手表，发现手表有精密的设计，各个零件分工协作最终共同实现指示时间的目标，那么我们立刻就会想到这只手表出自一位聪明的设计者之手。裴利认为如果观察有生命的有机体，我们会得到相同的结论。这些有机体有明显的设计，也就是其组成部分各司其职共同实现目标，这同样意味着生命体背后有一个聪明的设计者。

你当然可以批评这样的论证过程，大卫·休谟在他的《自然宗教对话录》中为此类批评做出了最佳范例（需要明确的是，休谟的批评并没有

特别针对裴利有关设计的论证过程，但仍然适用）。休谟的结论是，这样的论证过程或论据最多只能证明有一个很模糊的设计者，但与西方传统中犹太教、基督教或伊斯兰教中的上帝或神明相差甚远。然而，尽管休谟提出了这样的批评意见，但裴利这种设计者的观点和其他类似观点仍然有很大的吸引力。

正是在这里，达尔文和华莱士的解释似乎对宗教观点产生了巨大影响——至少从表面上看起来如此。这里的宗教观点至少包括“上帝对宇宙中的一切负责，特别是对我们在地球上所看到的生命形式负责”的观点。演化思想也使“人类是特别的”和“宇宙有某种整体目的”的观点陷入了困境。同样地，至少从表面上来看，根据演化论的解释，前面所述的上帝、有目的的宇宙和人类占据某种特殊位置等观点与经验证据相比起来，即使不是完全矛盾的，也已经变得多余。

支撑演化论的经验数据在数量上具有压倒性优势，因此只要你尊重经验证据，那么就必须接受演化论所给出的整体解释。那么，问题来了，能不能在全盘接受演化论的同时，仍然以一种前后一致、尊重科学的态度来相信上帝对宇宙中事物的运转起作用？达尔文的演化论是否能与西方大多数宗教中既普遍又可能非常核心的观点，也就是“宇宙有某种整体目的”以及“人类从某种有趣的角度来看非常特殊”的观点保持一致？

近年来，围绕这些问题的争论开始变得激烈。一方面是一部分学者认为，简单来说，演化论已经证明，任何有关上帝作为造物主参与并影响宇宙日常运转的传统概念，以及任何与“人类在一个有目的的宇宙中占据特殊位置”有关的传统概念，即使不是完全错误的，也至少是没有必要的。相比之下，另外一部分学者认为，可以全盘接受达尔文的演化论和自然科学，与此同时，仍然可以认为上帝参与宇宙中事物的运转，并发挥作用，可以认为宇宙有整体目的，人类在其中占据某个特殊位置。在这一节的剩余篇幅中，我的目标就是让你对两方在这个问题上的某些思考和争论有所体会。

宗教观点所面临的某些问题

在这一节剩余的篇幅中，我想对一部分学者的观点进行概述，这些学者在某个点上意见一致，从这一共识点开始我们的讨论，可能会很有帮助。经常会听到这样一个说法：只要让“上帝”在演化过程中扮演一个角色，那么演化就可以与关于上帝的传统观点一致起来。这背后的想法是，上帝参与演化过程，把不同的内容根据演化这锅“乱炖”的需要放进锅中，在必要的时候搅拌一下，整体上把握一下演化过程的方向，使其结果与上帝的某种神圣菜谱或计划相一致。根据大多数此类描述，上帝参与演化“乱炖”制作过程的结果之一就是：确保人类是演化的产物之一。

不过我们在下面将要讨论的这些学者都认为如果认真接受演化理论（以及整个自然科学），那么就不存在前一段所描述的这个选择。有个

例子可能有助于解释为什么如此。就像我们在本章前面以及第20章中讨论过的，在牛顿理论中，通过惯性定律和万有引力定律，行星运动轨道得到了一个自然解释，而不再需要用上帝、其他神明或其他自身不移动的移动者来解释。强调用自然来解释自然现象，而不是用超自然事物或力量来解释，是现代科学的核心部分。因此，如果要以忠于科学的态度严肃对待自然科学、严肃对待演化理论，那就需要接受现代科学的这个核心部分。

回忆一下，自然选择在达尔文的研究中扮演着核心角色。我们在下面将要讨论的学者都认为自然选择中的“自然”部分是核心。因此，如果在通过自然选择进行的演化过程中加入超自然因素，比如让上帝参与演化过程，那么这就不再是自然选择了。这也就不再是严肃对待自然科学和演化论了。简言之，严肃对待自然科学就意味着深受超自然事物影响的演化发展过程并不是一个尊重科学的选择。

同样地，我们在下面将讨论的这些学者也都认可这一点。从这个最初的共识点出发，我们立刻可以得到几个实质性结果。首先，严肃对待演化理论，就不能再认为“我们在身边所看到的生命、有机体和物种，之所以存在，是因为它们是某个神圣蓝图的一部分”。目前居住在地球上的物种，包括人类，是在数十亿年间所发生的无数随机事件的部分结果。在这些随机事件中，有些是概率事件，它们影响了环境，进而影响了生活在这一环境中的有机体的生存率；有些是某个群体中出现的随机突变；还有其他无数种随机事件。因此，“我们在身边看到的某个物种或某种有机体，之所以存在，是因为它们在很早以前就已经成为某个神圣蓝图的一部分”的观点，无法与演化论的解释保持一致。

根据前面这些讨论，可以推论出，人类不可能是演化有意为之的产物，甚至也不是演化希望创造出来的产物之一。同样地，严肃对待演化意味着接受“现有物种的出现是大量随机事件的结果”。举一个非常著名的例子，有充分的理由认为，6500万年前，一次巨大的小行星撞击严重影响了环境，而且很有可能是造成恐龙灭亡的主要原因。恐龙灭亡又为大型哺乳动物的出现，以及最后人类的出现，留出了空间。因此，如果小行星没有撞到地球，那么演化历史将会呈现出不同的走向，而且人类就很有可能不会出现了。小行星撞击只是在我们的演化历史中扮演重要角色的无数随机事件之一。简言之，人类以及其他所有物种的出现，在很大程度上都依赖于这样的随机事件。所以，严肃对待演化理论就不能再认为“人类是演化有意为之的结果”。

还有一点也已获得广泛共识，值得一提。如果要严肃对待整个自然科学，包括演化理论，那么就必须承认事件根据自然规律向前发展，而不是依据超自然原因。同样地，自然科学中“自然”的部分不允许超自然因素来影响具体事件的发展走向。据此可以得到结论：必须放弃西方宗教传统中的一个常见观点，也就是认为祈祷可以影响自然事件。笃信祈祷的效果其实就是认为超自然因素会影响自然事件的发展，这同样与严肃对待自然科学是不相符的。

简言之，严肃对待演化论和整个自然科学，对宗教信仰，特别是对那些长期以来一直属于西方整体宗教传统的一部分的观点，都有很深远的影响。那么，严肃对待演化理论，是否能给西方世界关于上帝的传统观点或其他类似的观点留下一点儿余地？

丹尼特、道金斯、温伯格等学者：“不能”

许多著名学者，包括物理学家、生物学家、科学哲学家等，都认为对前一段结尾的那个问题，答案很明确是“不能”。严肃对待演化论和整个自然科学，就没有给西方世界关于“上帝”的传统观点或其他类似的观点留下余地。这些学者包括丹尼尔·丹尼特、理查德·道金斯、爱德华·威尔逊和史蒂文·温伯格等。

在具体观点上，不同的学者都有所不同，不过一个大致的共识是：在这里，最重要的问题，也就是涉及宇宙起源、生命发展，以及包括具体事件的发展走向等在内的宇宙日常运转的问题，都是经验命题。要在这些问题上构建观点，某些经验理论对我们的帮助作用最大，因此要研究这些经验命题，我们必须利用这些经验理论。

对于这些学者，从很大程度上来说，由于前面大致讨论过的那些原因，我们最好的经验理论（包括演化论）并没有给西方世界关于上帝的传统观点或类似的观点留有空间，也就是说，并没有给上帝留出任何空间让他通过任何详细的蓝图来规划整个宇宙。有关宇宙和生命的详细规划与我们已发现的生命演化起源是直接相悖的。因此，认为宇宙和生命有发展蓝图的观点与现代科学发现完全不一致，特别是与演化论不一致。

对于上帝会干涉并影响日常生活中的事件发展进程的普遍观点，情况也是相同的。自17世纪以来，科学已经充分证明了，宇宙根据自然规律运转，演化论在过去150年的发展则表明，这一点也同样适用于生命的发展。简言之，现代科学所提供的解释，以及现代演化论所提供的关于生命的解释，都没有给“上帝会干涉并影响日常生活中的事件发展进程”的观点留有余地。这样的上帝同样与现代科学发展不一致，特别是与演化论不一致。

重复一下前面一节刚刚讨论过的一点，也就是演化论在任何字面意义上都与“人类是特别的”这一观点不一致。相比之下，我们对生命演化发展的理解迫使我们接受，所有现存的生命之所以存在，都是因为大量随机事件的发生，这使我们无法认为人类从某个意义上说是特殊的，无法认为从某个意义上说人类是生命演化发展有意为之的产物。

简言之，这些学者认为，演化论为已经发展了一段时间的构想提供了最后一块重要拼板。具体来说，演化论为最后一个以前看似需要用超自然因素来解释的现象提供了自然解释，也就是说，演化论为我们在生物界所发现的复杂性提供了一个自然解释。那么，此时，在一个科学得

到充分发展并且尊重科学的世界观里，西方世界关于上帝的传统观点或者关于宇宙有一个宏伟目标的观点，就已经没有了立足之地。

同样地，这些学者也会同意，我们在这里所关心的问题，也就是有关宇宙起源、宇宙中事件如何发展和生命的发展等问题，都是经验问题。由于这些问题是经验问题，我们必须利用经验证据来决定用什么样的观点来看待这些问题才最合理。如果经验证据表明不可能存在西方世界传统观念中的上帝，那么这些学者就确实认为经验证据表明了这一点，也就是这样的上帝就不可能存在。我们必须接受这一点，然后继续往前走。

霍特、过程哲学和过程神学

前面一小节的论证过程似乎非常有说服力。不过，有些学者认为，可以本着尊重科学的精神全盘接受整个自然科学和具体的演化论，同时，仍然可以至少从某种意义上说，秉持西方世界有关“上帝”的传统观点。这一小节的主要目标是对一位学者的此类观点进行概述。这位学者并不是唯一一位认为可以在全盘接受演化论的同时仍然相信上帝的人，但是在其最近的著作中，这位学者对这一观点进行了最全面的阐述。

约翰·霍特是一位现代神学家，非常熟悉演化论，愿意承认演化论总的来说是正确的。对前面两小节中讨论过的很多观点，霍特都会表示同意。举个例子，霍特会同意自然科学和自然选择中的“自然”部分最为核心；会认为如果秉持尊重科学的态度，就必须接受现代科学特别是演化论并没有给一个干涉演化过程或直接干涉宇宙自然运转的上帝留有余地。

同样地，霍特也同意现代科学和演化论没有给“宇宙是按照一个详细蓝图来发展”的观点留有余地。他同样接受，人类不可能是像西方传统宗教观点所认为的那样特殊的存在，也就是说，不可能把人类当作是演化过程有意为之的产物。

简言之，霍特当然认为现代科学，特别是演化论，对宗教观点有巨大影响。他认为现代科学和演化论要求过去几百年间形成的上帝概念发生重大改变。不过，霍特认为，这些变化，也就是由于我们严肃对待演化论而必须发生的变化，都是积极的变化。他认为，认真对待演化所产生的影响，会带来一个优于西方世界此前所有设想的上帝概念。因此，霍特常说“达尔文给神学带来了礼物”。在接下来的几段中，我将尝试概括介绍霍特所说的达尔文对神学的贡献。霍特的观点细致入微，我必须指出，接下来我只是对这些观点的某些方面进行概述。

首先，霍特认为，放弃“上帝作为造物主，根据一张详细蓝图，在很久以前就创造了一个完整（或接近完整）的宇宙”的传统概念，是一个很明智的选择。要理解霍特在这里的逻辑，请思考一下下面这个类比。假设我要建造某个东西，为了便于讨论，暂时假设我要在屋后的露台上建

造一个小水池，而且就利用天然的石头，水池中心可能还有一个很漂亮的喷泉。我首先有了一张设计图，然后收集原材料，最后用几天或几周时间建好水池。一旦我把水池建好了，接下来要做什么？假设我和妻子很喜欢这个水池，可能一开始特别喜欢，但是后来，一年又一年过去了，新奇感渐渐消失，可能就没那么喜欢了。我们可能会在水池里养些金鱼或其他小动物，还会时不时地根据需要更换养在水池里的小动物。不过总的来说，我建造水池这件事，是一项在开始之后很快就完全完成的工作，而且完成之后，我这个创造者也就没有什么其他工作要做了。

对西方宗教信徒来说，前面描述的这种创造过程是非常常见的。举个例子，最近的民意调查显示，美国人口中将近半数认为上帝对宇宙的创造早在10000年前就已经开始，而且在开始的时候实际上就已经完成了。如果有人问，最初的创造完成了，然后呢？对此，普遍的观点是，最初的创造完成后，这个世界就变成了一个试验场，人们在这里证明自己值得得到救赎。

霍特对此的描述与前面所讨论的并不是一模一样，但是可以体会到他认为这样一个上帝，也就是在开始创造宇宙之后不久就完成了所有工作，随后把世界变成了一个试验场的上帝，并不是一个十分有趣的上帝或造物的概念。一开始，上帝创造了宇宙，之后几个世纪的时间里，相同的事情不断地在宇宙中发生。人们出生，接受上帝测试，最后通过或没有通过测试，然后与此相同的过程一直不断地反复发生。这是个关于上帝，或者说关于造物，又或者说关于世界的整体目标的概念，似乎确实不怎么有趣。我认为，当霍特说达尔文为神学带来了一个礼物时，前面这个判断就是他脑中出现的想法之一。霍特所认为的礼物包括迫使神学家反思有关上帝、造物和宇宙目的的大问题。

为了替换这个传统的按照蓝图造物的上帝的概念，霍特构建了一个非常不同的上帝和一个非常不同的造物过程。他认为自己所构建的上帝和造物过程不仅与现代科学相一致，而且更有意思，也能更好地与西方宗教的核心原则保持一致。霍特的神学观点与哲学家阿弗烈·诺夫·怀海德（1861—1947）和既是科学家又是神学家的泰亚尔·德·夏尔丹（1881—1955）的著作有关。接下来我将对怀海德和德·夏尔丹进行简要探讨。

20世纪初，怀海德在逻辑学和数学领域进行了某些重要的基础性研究，除此之外，与怀海德最为相关的就是“过程哲学”。简单地说，过程哲学认为过程比物体更为基础。也就是说，传统观点把物体当作是现实最基础的组成部分，而把事件、变化和其他过程看作是伴随这些基本物体相互作用而产生的结果，相比之下，过程哲学则把这个顺序完全颠倒过来。根据过程哲学，过程成了现实最基础的组成部分，物体被看作是过程和事件所产生的结果。

当然，这只是对过程哲学其中一个方面最基本的概括，然而，这已经足以让我们看到从过程哲学的角度来看，这个世界，包括其中的物体，如何可以仅仅被当作是持续进行的事件、变化、过程和关系，并从

中产生世界中的各种物体。因此，这个世界和世界中的物体，并不是稳定的实体，而是在持续演化的过程。

正如怀海德与过程哲学紧密相连，德·夏尔丹与过程神学 也紧密相连。不同的过程神学家在具体观点上都有所不同，不过总的来说，他们通常都认为过去关于上帝的概念，也就是"上帝是一个独立代理人，创造了世界后又与自己的创作相分离"的概念，应该被一个更能与过程哲学保持一致的概念所取代。在这样一个新的概念中，上帝并没有被看作是一个与世界分离的事物，而是被当作是那些作为这个世界最基础组成部分的、正在进行并持续变化和演化的过程的一部分（或者全部，又或者其未来阶段）。这样一来，上帝就被看作是这个世界的持续参与者了。在这里，参与者的意思并不是指一个强制干涉这个世界中事件发展走向的角色，而是指一个与各个按自然规律持续向前发展的过程发生了关联的角色。

同样地，前面只是对过程神学中某个方面最粗略的概括，但已经足以让我们看到过程神学中的上帝概念与西方世界传统上帝概念的不同之处。霍特的研究就是在过程哲学和过程神学的广泛传统内进行的。他认为，演化是一种正在进行的创造性过程，这个过程会创造出新的有机体种类，有时甚至是全新的物种。因此，演化论不仅与过程神学一致，而且起到了加强作用。

除此之外，霍特认为，只有宇宙中的秩序和随机性达到了正确的平衡，演化才能发生。一方面，如果秩序太多，地球上生命演化发展所需的随机事件就不会发生；另一方面，我们的演化历史表明生命的发展需要一些规律性，因此，如果宇宙中随机性太多，这些规律性也就没有了空间。根据我们在宇宙中所看到的秩序与随机性之间的平衡（这种平衡可能可以追溯到宇宙诞生之时所呈现的状态），我们将可以看到宇宙在一个很宽广的范围内向前发展。宇宙在向前发展时，并不是沿着一个精确的、设定好的方向，而是只是大致有个确定的方向，这个方向包括最终发展出某种智慧生命。这种智慧生命并不一定是（甚至可能不是）人类，或任何今天恰好存在的物种。然而，考虑到宇宙最初的状态，霍特认为，生命非常有可能在宇宙的某个地方发展出来，而且所发展出的生命种类可能非常多样，其中就非常有可能存在某种智慧生命，也就是可以理解和欣赏宇宙的生命。

因此，在霍特的神学中，宇宙并不是由上帝创造的，也就是说，不像我在自家后院建造水池那样，开工之后很快就完全完工了。同时，宇宙被创造出来以后，也不是按照某个特定的蓝图来向前发展的。宇宙的日常运转不是由上帝来规划的，上帝也不会干涉宇宙的日常运转。上帝不是某种与宇宙相独立且分离的"事物"。相反，组成宇宙的那些正在进行且不可预测的过程，包括演化过程，意味着宇宙的每个时刻都是不同的，在每个时刻都有一个正在进行的创造过程。可以说，这是一个始终在被吸引着向未来发展的宇宙。霍特认为，有一定道理的观点是把上帝看作是一个吸引着宇宙向其发展的未来，这其中多少运用了类似暗喻的

方式。这样一来，上帝就紧密地参与到宇宙中去了，同时也紧密地参与到由秩序和随机性的平衡所带来的那些正在进行的创造过程中去了。因此，根据这个观点，宇宙并不是仅仅进行某些“无意义的闲逛”。事实上，宇宙有一个目的，这个目的与“宇宙大致朝某个方向向前发展”的特性相关联，而宇宙发展的大致方向就根植于规律性过程和随机过程之间的平衡，正是这个平衡使宇宙可以按照自然规律向前发展，包括按照在演化论中处于核心位置的规律向前发展，然而尽管如此，在这些过程中仍然存在真正的不确定性和不可预测性。

前面的讨论只是对霍特部分观点的简要概括。这个观点很明显已经超越了科学（接下来我将对此进行更深入的讨论）。不过，霍特坚持认为这个观点完全接受了演化论及整个现代科学所带来的影响。然而，他同时也认为，这个框架给作为宇宙参与者的上帝留出了余地。上帝作为宇宙的参与者，并不是干涉什么会发生，而是成为那些作为宇宙最基础组成部分的过程的一部分。人类从某种意义上说是特殊的，但并不是说宇宙是为人类创造的，或者人类是演化过程有意为之的结果。事实上，考虑到宇宙最初所呈现的状态，以及随机性与秩序之间的合理平衡，某种智慧生命是很有可能出现的，而至少有一种已经出现的智慧生命恰巧就是我们了。

讨论

让我们简单地回顾一下，在这一节开始时，我们提出了一个问题：秉持尊重科学的态度，全盘接受了演化论和整个自然科学的影响后，我们是否仍然可以相信某种“上帝”的概念（也就是上帝以一种有趣的方式参与宇宙运转的概念），是否仍然可以相信人类是特殊的，以及宇宙具有某种目的？一开始我们讨论了许多著名学者的观点，简单来说，他们的答案是“不可以”。相比之下，霍特则认为我们可以在全盘接受演化论和整个自然科学的同时，仍然相信一个有趣的上帝概念，相信人类（或至少某种智慧生命）从某种意义上说是特别的，以及宇宙有某种整体目的。

我们应该如何看待这两方的争论呢？我认为这个争论的主要根源是一种观点差异，那就是在面对经验事实时，关注的重点应该放在哪里。第一个阵营里的学者认为关于宇宙的观点是经验观点，对这样的观点，唯一的或者至少最基础的证据必须是经验证据。他们的论点是经验证据并没有留下太多（如果有的话）余地给传统的上帝概念。

霍特同意经验证据的重要性。然而，他同时明确表示他认为某些关于宇宙的观点，比如他所说的对宇宙某种特点的“最终解释”，是在自然科学范畴之外的，是神学的一个合理功能，而并不仅仅是一个直接明确的经验证据问题。

请注意，这两个阵营所争论的并不是经验证据。总的来说，他们在这一点上是有共识的。事实上，两个阵营的不同点主要在于对经验证据

重要性的不同判断。第一个阵营的学者认为，对于有关宇宙性质的观点来说，经验证据是唯一可以依赖的证据，或至少是具有压倒性优势的证据。经验证据之外，就再也没有什么可参考的了。不过，另一方面，霍特则不会赞同在探索有关宇宙性质的观点时仅仅止步于经验证据。

在这里，回顾一下我们在第17章中讨论过的伽利略和贝拉明之间的争论可能会有所帮助。在这个例子里，我们可以看到与这两个阵营之争多少有些相似的情形（尽管还是存在重要差异）。如果像伽利略一样，你的核心观点是认为在构建关于宇宙的观点时，经验证据应该具有压倒性的优先级，那么我觉得你就不可能 既接受达尔文的演化论解释又接受霍特所构建的上帝概念。也就是说，你不可能本着一种前后一致并尊重科学的态度来对这一节的核心问题回答“可以”。

不过，如果你的核心观点与此不同，你就可以 同时接受达尔文的演化论和霍特所构建的上帝概念了。也就是说，如果你的观点拼图中核心的拼板与霍特观点拼图中某些核心拼板相似，那么你就可以在全盘接受达尔文演化论和整个自然科学的同时，仍然对我们这里的核心问题给出肯定的答案。

说到底，我认为我们在这里讨论的正是前面讨论过的每个人的观点拼图的差异，就像史蒂夫和他关于月亮的（独特）观点（在第7章中讨论过的），以及伽利略和贝拉明核心观点的差异（在第17章中讨论过的）。这样的争论引发了关于不同观点拼图的合理性的难题。就像前面提到过的那些例子，争论中的任何一方都不能简单教条地说自己所选择的观点体系更好。就像我们在第7章中所讨论的，这样做就等于用不可证伪的态度来对待一个人的基本观点体系。关于不同观点体系的合理性，可以存在合乎逻辑的争论，但是这个争论需要考虑一些困难而又宽泛到超出人们通常理解能力的命题。

在结束这一节之前，我想暂停一下，做一些说明以免被误解。事实上，我并不是说（也绝不认为），前面提到的两个阵营的观点是同等合理的。同样地，我也没有认为其中一个合理而另一个不合理。事实上，我在这个问题上完全持（或试图持）不可知论者的态度。我试图表达的是，这两个阵营的差异主要来自他们（每个人）各自观点拼图中核心拼板的差异。任何还在进行的关于各自阵营观点合理性的争论，都必须考虑这些整体观点体系合理性的难题。

| 道德观与伦理学 |

在过去两个世纪里，关于演化论对我们伦理观有何影响（如果有的话），已经出现了大量著作。举个例子，在达尔文的《物种起源》发表50年前，拉马克（我们在前一章中对他进行了简要讨论）撰写了文章讨论了演化对伦理学的影响（这里，“演化”需要从一个前达尔文的角度来理解，也就是泛指有机体群体的变化，而不涉及自然选择）。达尔文的祖父伊拉斯谟斯·达尔文同样也撰写了有关演化对伦理学影响的文章。达

尔文本人也有此类著作，而在达尔文时代之前、之中和之后，还有许多其他人也对此进行了讨论。

简言之，关于这个话题有许多著作，我们在这一节中不可能一一探讨。不过，我们至少可以体会一下某些关于这一命题的主张，同时探讨一下近期某些关于演化和伦理学的著作。具体来说，我将首先解释一些背景材料，特别是有关元伦理学和规范伦理学之间区别的材料。然后，我们将探讨关于演化论的某些新近经验性研究，这些研究解释了有关合作与利他主义行为起源的元伦理学命题。最后，我们将讨论演化思想是如何（如果有的话）影响规范伦理学命题的。让我们首先从规范伦理学和元伦理学之间的区别开始。

背景材料：规范伦理学和元伦理学

对伦理学的研究通常分为两个宽泛的领域，一个是规范伦理学 ，另一个是元伦理学 。我们将从解释两个领域的区别开始。

规范伦理学是伦理学的一个分支，主要关注伦理规范，也就是说，伦理学的这个分支是与涉及人们应该如何行事的命题有关的。举个例子，假设你身为一个医疗审查委员会的一员，委员会的任务是决定谁应该获得器官移植。当只有一个可移植的器官但却有很多病人等待器官移植时，这个案例就会上报到你所在的委员会，而这种情形通常都会带来难以解决的伦理问题。在做决策的时候，你是否会遵循某种得到一致认可的伦理准则，比如，优先选择那些病情最严重、如果得不到器官移植最有可能马上死去的病人？或者你也许会基于可能出现的结果来做决策，也就是考虑各种不同的选择能带来怎样的效果，然后选择那个预计在器官移植后寿命能延长最多的病人？像这样的问题，涉及你应该如何行事（在这个例子里就是你应该提出怎样的建议），这就是与规范伦理学有关的问题。重申一下，总的来说，规范伦理学是伦理学的一个分支，关注的是与我们应该如何行事有关的命题和理论。

相比之下，元伦理学所关注的是有关伦理学的更宽泛的问题。同样地，举个例子可能更有助于理解。思考一下，在我们的语言之中，不同种类的句子扮演不同的角色。比如，像“太阳距离地球大约9300万英里”这样的句子是直接明确的陈述句，看起来表达了一个关于这个世界的客观事实，通常会被认为不是“对的”就是“错的”；像“把番茄酱递给我”或“关上门”这样的句子，就扮演了一个不同的语言学角色，也就是指示某人做某事；而像“晚餐吃软壳蟹……呃”这样的句子又扮演了另一个角色，在这个例子里表达了对食物选择的好恶。

不过，什么样的表达才是伦理学表达呢？当某人说“堕胎是错误的”，这是在表达某个被认为是关于这个世界的客观事实吗？或者这更像是一个命令，就像“不要堕胎，也不要支持堕胎”一样？又或者这是个人好恶的一种表达，在这里是表达了说话人自己不喜欢堕胎这个概念？又或者还有什么其他可能性？

有关什么样的表达才是道德表达的争论，是元伦理学范畴内的一个话题。元伦理学所关心的问题同样与我们的伦理倾向起源和伦理判断的本质等有关。总的来说，元伦理学并不像规范伦理学一样关心与我们应该怎样行事有关的问题，而是关心一些有关 伦理学的更为宽泛的问题。

关于演化，我们可以找出演化理论可能对伦理学所产生的不同种类的影响。首先，有些问题是在规范伦理学范畴内的。举个例子（也是最直接明确的例子），我们对演化的理解是否解释了我们应该如何行事？对于什么样的行为更符合道德要求，演化解释是否让我们得出了新的、有趣的结论？这一类问题所涉及的就是演化可能对规范伦理学命题产生的影响。

有些问题与这些问题无关，而是出现在元伦理学的范畴内，比如，目前，大量以解释我们伦理行为的演化起源为目标的研究已经开展了起来。这些研究都是在元伦理学的领域内，而且正如前面提到过的，我们接下来将探讨其中某些研究。

至此，我们简要了解了规范伦理学与元伦理学在关切点上的区别，这将有助于我们探讨演化思想对伦理学可能产生的影响。具体来说，我们的讨论将分成两大类。第一，我们将讨论某些新近的经验研究，这些研究都关于我们通常认为在道德上值得赞赏的行为的演化，特别是合作和利他主义行为的演化。此类研究将会为涉及我们伦理倾向起源的元伦理学命题提供解释。第二，我们将讨论某些关于演化和规范伦理学的争议性话题。

元伦理学思想：合作和利他行为的演化

关于我们某些常见行为可能的演化起源，包括男性与女性在求偶行为上的差异、一夫一妻制、离婚倾向及其他一系列种类繁多的行为，现在已有大量相关文献，其中很多发表于最近几十年。虽然这些研究中很多都很有意思，但在这一节中，我想讨论的是那些范围比较集中的研究。我们将要探讨的研究涉及的问题范围很宽泛，但是其中的经验工作本身，范围是比较集中的。由于这类研究通常比前面讨论过的研究更依赖于经验工作，这些例子就更好地说明了经验工作是如何来解释元伦理学命题的。具体来说，在这一节中，我们将探讨近期部分有关合作和利他主义行为演化的研究。让我们首先探讨一下，为什么合作行为，特别是利他主义行为，从演化角度来看似乎很有问题。

为什么利他主义行为从演化角度来看很有问题？ 利他主义行为是一种对做出这种行为的一方有害（或者可能有害）而对其他人有利的行为。这样的行为是我们通常认为在道德上值得称赞的行为的最佳范例，比如，不顾自己的生命安危而把一个溺水的孩子从河里拉上来。一个简短的例子可能有助于说明为什么从演化角度来看利他行为是让人困惑的。大学毕业后不久，我到法国生活并工作了一段时间。一个休息日的下午，我沿着一条偏远的乡间道路骑自行车。一辆牵引式卡车在刚刚经

过我身边后就失去了控制。卡车顺着一个坡度很陡的路堤滚了下去，最后翻倒在地面上，车顶朝下，发动机还没熄火，柴油喷得到处都是，司机和乘客都被困在卡车车厢里。几乎是想都没想，我就顺着路堤滑下去，帮忙把司机和乘客救了出来，尽管从小到大，我看过的美国影视剧都让我相信这样的一个情境最后通常都会很惨，比如发生大爆炸。（后来我发现这不是真的，柴油并不会像汽油那样喷发，所以我们并没有身处巨大的危险之中。）

这就是利他主义行为的一个例子，也就是一种对做出这一行为的一方有害（或可能有害）但是却对其他人有利的行为。某些利他主义行为非常适合从演化角度来看待。比如，一只鸟冒着生命危险，试图把围绕在附近巢中幼鸟周围的捕食者赶走。这种行为被归类为“亲缘利他主义”。自然选择会导致这种利他主义行为一点儿都不稀奇，因为这些行为与有机体的成功繁殖有直接关系。另一种利他主义被称为“互惠利他主义”，从演化角度来看同样也不会让人困惑。互惠利他主义所涉及的是，做出这一行为的一方可以合理地认为自己能得到某些有利的东西作为回报。这就像是一种“你帮我挠背，我也帮你挠背”的利他主义。

然而，前面提到的卡车的例子，并不能简单地归类为亲缘或互惠利他主义情境，因为它并没有发生在我所属的国家，我所帮助的人也绝不可能与我有任何关系，因而我的行为绝对算不上是亲缘利他主义。而当时我的身份文件过期，我已不能合法留在法国，更别提我还在非法打工了。因此，当确定司机和乘客都已脱离险境，当然肯定是在警察到达之前，我必须马上离开，而且不能留下姓名。所以，我也完全没有机会因为自己的行为而获得任何形式的回报。

现在我们从演化角度来看这个行为。我当时才20岁出头，还有一片大好未来，但我却冒着牺牲这片大好未来的风险，为了一个在遗传上跟我没有任何关系的人而置身于一个完全没有希望得到任何回报的场景中。这种利他主义行为一点也不少见，然而一个以有机体个体成功生存和繁殖为目的的演化过程，怎么可以导致这样一个从实现有机体个体成功生存和繁殖角度来看没有意义的行为趋势呢？这样的行为让达尔文感到困惑，而且一直是很多讨论的焦点，特别是近些年来，这成为许多经验研究的焦点。在这一节剩余的篇幅中，我想对近期部分有关合作与利他主义行为演化的经验研究进行一下解释说明。

重复的囚徒困境和合作行为的演化　某些重要而且还在进行的有关合作行为演化的经验研究涉及通常所说的重复的囚徒困境。在此类研究中，最著名的一部分与罗伯特·阿克塞尔罗德在20世纪70年代后期开始的电脑模拟有关。这些研究结果最初于1980年以一系列论文的形式发表，后来阿克塞尔罗德在其1984年的著作《合作的进化》中进行了更详尽的阐述。

简单来说，阿克塞尔罗德研究的是诸如“以增加个人利益为目的的情境（比如通过自然选择进行的演化）如何可以产生合作行为”的问题。前

面提到过，这个研究涉及重复的囚徒困境。要理解重复的囚徒困境，首先了解一下通常所说的“经典”或“一次性”囚徒困境可能会有所帮助。经典囚徒困境可以追溯到托马斯·霍布斯（1588—1679）的研究，其核心内容如下。

假设A和B两个人有机会进行互动，而且这个互动将会是一次性的，两人中任何一人都不会与另一人再次进行互动。在这次互动中，每个人行为的目标都是追求自己的利益最大化，而且在不知道对方会如何行事的情况下，两个人都要针对在这次互动中是否要与对方合作做出决策。假设（a，b）分别代表A和B所得到的回报（因此，举个例子，（13，0）就意味着在这次互动中A获得了13分，而B获得了0分）。假设用图28-1所示的矩阵来总结可能的回报情况。

如果A在不考虑B的情况下为追求自己的利益最大化而采取行动，那么A的推理将如下：我不知道B是否会与我合作。如果B与我合作，我也与他合作，我将得到10分，不与他合作，我将得到13分。13分比10分好，在这个情况下，我不合作得到的回报会更高。另一方面，如果B不与我合作，但我与他合作，我将得到0分，不与他合作，我将得到3分。3分比0分好，在这个情况下，我不合作得到的回报会更高。所以，不管是哪种情况，也就是不管B是否与我合作，我不合作，都会得到更好的回报。

当然，B也会有同样的推理过程。结果就是，不管是A还是B，如果为了追求自己的利益最大化而不考虑对方，都不会合作，最终会导致（3，3）的结果。这是一个很有趣的情境，其中的每个人，为追求个人利益最大化而理性行事，会使整个情境变成从共同利益角度来看最糟糕的结果。

		B的选择	
		合作	不合作
A的选择	合作	（10，10）	（0，13）
	不合作	（13，0）	（3，3）

图28-1　囚徒困境回报矩阵

重复的囚徒困境与经典囚徒困境相似。具体来说，每一次单独的互动中，回报都与前面的回报矩阵相同。然而，一个典型的重复的囚徒困境情境中并不只有两个人（可能有上百人或上千人），其中每个人都会与情境中其他所有人发生多次互动，并且在每次互动的时候都会知道前一次互动的回报情况。

在经典囚徒困境中，很容易推导出为追求个人利益最大化而采取的理智策略，也就是两个人都会通过不合作来实现个人利益最大化，然而，在重复的囚徒困境情境中，却很难提前把最佳策略推导出来。大多数这样的情境中都存在太多未知因素，其中最值得注意的就是其他人会采用什么样的策略。

为了搞清什么样的策略可能是最佳策略，在20世纪70年代晚期，阿克塞尔罗德向世界各地的研究者征求了策略，输入电脑程序中，然后让这些策略程序在一个重复的囚徒困境比赛中彼此竞争。这些策略程序不受任何限制，可以任意简单或任意复杂。每个策略程序的唯一目标就是在与其他策略程序所进行的上百次互动中努力积累最高得分，最后的胜利者将是获得最高分的策略程序。（顺带提一下，阿克塞尔罗德并不是第一个把重复的囚徒困境当作研究工具的人。在他之前的一段时间里，重复的囚徒困境就已经广泛应用于研究了，不过阿克塞尔罗德的方法确

实有所不同。）

策略程序竞争的结果颇为出人意料。很多人认为结果会符合谚语“人善被人欺”的描述，也就是“友好的”合作策略程序得到的结果将比不上那些不诚实、不合作的策略程序。然而，恰恰相反，其中最简单的且采取合作策略的一个程序最终在比赛中获得了胜利。更有趣的是，几个月以后，同一个策略程序又在相同的比赛中获胜，而且这次参赛的策略程序范围更广，数量更多。在两次比赛中，大多数人都知道这个策略会参与到比赛中来，因此可以专门针对这个策略来进行程序设计。

赢得了这两次比赛的是一个名叫“以牙还牙”（Tit for Tat，TfT）的程序，而在阿克塞尔罗德最初的比赛之后，又举行了数次常规比赛，这个程序继续胜出。就像名字所透露的，TfT是一个“合作”程序。也就是说，每当与其他某个程序第一次互动时，TfT程序都会选择合作，绝不会成为第一个与其他某个程序不合作的程序。然而，TfF会报复，如果某个程序没能与TfT合作，那么下一次与这个程序互动时，TfT就不会再合作了。TfT的整个策略总结起来很简单：TfT在与其他某个程序第一次互动时都会合作，在之后的互动中，TfT都会按照对方程序在上一次互动中的策略来行事。

TfT就是一个通常所说的“好人”程序，按照定义，这是一个只要对方程序合作就会进行合作的程序。如果对方程序没能与其合作，“好人”程序就会报复，但绝不会是互动中第一个不合作的程序。简言之，“好人”程序就是一个高度合作的程序。

阿克塞尔罗德最初的及自那以后所进行的研究，生成了很好的经验数据，有力地表明了，合作行为是一个在演化上具有优势的行为模式。对这些比赛结果进行更深入的研究，也会带来更多有关这一行为的经验证据。

举个例子，不仅是TfT，其他采取合作策略的“好人”程序，通常所得结果也都压倒性地胜过“非好人”程序。比如，阿克塞尔罗德进行的第二次比赛中包括60多个输入了不同策略的程序，其中有些是“好人”，有些是“非好人”。比赛结束后，前15名（也就是整体得分最高的15个程序）中，有14个都是“好人”程序，只有1个不是（排名第8）。不过，即使是这个“非好人”程序（接下来将对此进行进一步讨论），总的来说也算是“合作”程序。

这个研究还揭示了对合作行为有重要作用的其他因素，比如报复的作用。举个例子，前面提到过的那一个“非好人”程序，也就是在第二次比赛中排名第8的程序，当再次与之前跟自己合作过的程序互动时，一般来说会与其合作。但是不同于完全的“好人”程序，在某些时候，即使对方程序过去一直与其合作，这个程序也会不合作。这么做的主要目的是测试自己能不能侥幸逃脱。如果对方程序立即报复，那么这个程序就会回到合作的TfT策略上来。然而，如果没有立刻遭到报复，那么这个

程序就会增加不合作的频率，这主要是为了充分利用那些“超好人”程序，也就是那些在对方程序没能合作时，会犹豫是否要报复的程序。

这些研究另一个有趣而具有普遍意义的结论与原谅的概念有关。在分析单个程序的互动时，很明显，有些程序陷入了报复的循环中。一个有助于打破这种循环的策略是在程序中加入某种“原谅”政策。举个例子，一个程序可能会尝试“原谅”另一个近期没有与其合作的程序。粗略地说，其背后的逻辑是试图“原谅”另一个程序，然后看结果如何。如果对方程序回到合作的策略，那么两个程序就可以打破报复的循环，回到让双方都受益的合作的循环。

然而，根据对这些互动的分析，同样清晰的是马上原谅并不会带来好处。像TfT这样的程序，也就是在遇到不合作行为时立即报复的程序，一般来说最终得到的结果都比那些不立即报复的程序要好。举个例子，思考一下“两报还一报”的程序。从根本上说，这个程序会立即原谅对方程序，也就是在下次两者的互动中进行合作而不是报复，只有当对方程序连续两次对自己采取不合作策略时才会进行报复。这样的程序在遇到好人程序时，结果不错，但在遇到某些特定的非好人程序时，通常会被利用得很惨。相比之下，那些立即报复的程序，也可以说是很容易被激怒的程序，通常都能比那些不容易被激怒的程序获得更好的结果。

简单说几句题外话，你可能注意到了，我们使用了“好人”“原谅”“容易被激怒”等类似的词语，也就是我们通常用来描述人类行为的词语，而且其中有些还具有伦理寓意。体会一下这些词语有多恰当，比起不使用这些词语，使用这些词语使描述这些程序的行为变得颇为简单，这是非常有趣的。事实上，这一领域的研究人员通常都会使用这些词语，似乎就是因为它们很简单。

从达尔文时代起，就一直存在关于合作和利他行为可能具有演化优势的多种推测。但是，推测是一回事，经验数据则是另外一回事了。阿克塞尔罗德研究工作的一个核心部分，就是这项研究为“合作行为（以及我们将在下面看到的利他主义行为）如何可以具有演化优势，以及这样的行为如何可以从演化过程，也就是一个以自私为本质的过程中脱颖而出”等诸如此类的问题，提供了确定的经验数据。

最后通牒博弈 除了有关囚徒困境情境的研究，最近几十年中还出现了许多其他研究工作，为我们的合作与利他主义行为提供了额外的数据。接下来三个小节的主要目标就是对其中几项研究进行一下概述。

近些年来，通常所说的“最后通牒博弈”已经成为在为合作和利他主义行为收集数据时广为使用的情境了。接下来，我将对典型的最后通牒博弈情境进行简要描述，并对这些研究所得到的某些基本结果进行总结。

假设你和我参与了一个研究，研究的要求是我们俩要进行最后通牒

博弈。整个设置相当简单：你得到了一笔钱，假设是10美元。我们将你称为“提案者”，因为你的任务是就如何将这10美元分配给我们两人提出方案。你的选择是把10美元中的一部分分给我，金额是从1美元到全部10美元，在每次提出增加分给我的金额时，增量是1美元。我将被称为“回应者”，因为我的任务是对你提出的方案进行回应。具体来说，我既可以接受你的方案，也可以拒绝。如果我接受，我们就会按照你所提的方案来分钱。如果我拒绝了你的方案，我们两个人谁都得不到一分钱。

最后通牒博弈可能的回报可以总结成如下的回报矩阵，如图28-2所示。与经典囚徒困境的情境相似，在这里，对两个以谋求个人利益最大化为目标而行事的人来说，怎样的行为才理智一目了然。请注意，在每个可能的回报中，我接受你提案时所获得的收益总是高于拒绝时的收益。因此，如果我单纯出于个人利益而行事，那么不管你提出怎样的提案，不管金额有多低，我都会接受这个提案。重复一下，也就是不管你的提案金额有多低，我接受这个提案总能比拒绝它获得更多收益。另一方面，你知道我如果仅从个人利益出发且理智行事的话，那么无论你的提案金额有多低，我都会接受，而你如果也自私行事，并且认为我也会如此，那么你就会给出规则所允许的最低金额的提案，也就是1美元，因为在这种情况下，你可以获得最高收益。

提案者的选择

提出把下面某一金额分给回应者：

回应者的选择	$1	$2	$3	$4	$5	$6	$7	$8	$9	$10
接受提案	(1, 9)	(2, 8)	(3, 7)	(4, 6)	(5, 5)	(6, 4)	(7, 3)	(8, 2)	(9, 1)	(10, 0)
拒绝提案	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)

图28-2　最后通牒博弈回报矩阵

请注意，根据这个情境的设置，如果你给出一个我认为过低的提案金额，我有权选择拒绝这个提案来给你施加压力。但重点是，请注意我必须在牺牲自己的部分收益的情况下才能惩罚你，也就是说我只能通过放弃自己的收益来让你受到惩罚。

值得注意的是，在涉及这种博弈的研究中，两人之间的互动通常都是匿名进行的，也就是说，如果你我在进行互动，那么我们并没有面对面，而是你不知道我是谁，我也不知道你是谁。这个设置的一个重要结果是，如果我惩罚你，我不可能同时期望这么做能给自己带来任何好处。我可能会期望对你的惩罚会让他人获益，因为我对你的惩罚非常有可能会让你在与这个研究中的其他人互动时给出金额更高的提案。但我不能期望这会给自己带来什么好处。

简言之，在这个情境中，我对你的惩罚将会是一种利他主义行为，因为它实际上是在以损失个人利益为代价给他人带来利益。这是一种浅层次的利他主义行为，并不能与牺牲自己的生命把溺水的孩子救上岸的行为相提并论，但无论如何也是一种利他主义行为。同样要注意的是，这种利他主义行为不能简单地用亲缘利他主义和互惠利他主义来解释。

在这些研究中，在众多情况（比如，改变研究中所涉及的钱数）和众多参与主体（比如，来自不同的国家和文化，接下来我们将对此进行进一步讨论）之间，自私行为从来都不是普遍的结果。这些研究都表明总有一部分主体（大约25%）会自私行事，但他们都是少数派。提案者给出的最普遍的提案大约为总金额的50%，也就是大多数提案者都提出两人把钱大致均分，尽管他们并没有义务这么做。至于提案者提出给对方高于50%的金额的情况，也一点儿都不罕见。

同样地，惩罚那些提案金额过低的提案者的利他主义行为是一种标准行为，尽管这样的行为对进行惩罚的一方来说是有损害的。具体来说，低于总金额30%的提案通常都会被拒绝。

简言之，不自私的利他主义行为是这个博弈的通常结果。这个结果可能一点儿都不令人惊讶，因为可能有人早就猜到了会是类似这样的情况。然而，正如前面提到过的，猜测是一回事，经验数据则是另一回事了。这些研究以及与之相似的研究尽管关注的是相对浅层次的合作和利他主义行为，但确实提供了这方面的经验数据。

与前面所讨论的合作行为的问题一样，类似的问题在利他主义行为上也可能会出现。举个例子，我们能不能通过研究来解释，为什么这种在最后通牒博弈中所找到的利他惩罚行为，过去可能一直、未来也可能继续享有演化上的优势？我们能不能收集数据来说明，在什么样的条件下，这样的行为是有优势的，在什么样的条件下又没有优势？如果我们可以找到这些行为具有演化优势的条件，这些条件有没有可能曾经在人类演化历史上出现过？

最后通牒博弈的设计过于简单，因而无法解释这些问题。不过，接下来，我们将开始探讨其他确实为这些问题提供了相关数据的研究。在开始探讨之前，关于最后通牒博弈，还有最后几点值得一提。

大多数与最后通牒博弈相似的研究几乎都仅限于在校大学生之间，而那些在英文期刊上发表了文章的研究则几乎都仅限于在美国和英国的在校大学生之间进行。（大多数这样的研究都是由与大学有联系的学者进行的，因此在校大学生自然成了方便的研究参与者。）值得注意的是，与最后通牒博弈及其变体有关的研究所拥有的参与者数量已经超过了通常研究所需的样本数。最后通牒博弈研究的参与者中有来自世界各地的（并不只是美国和英国）在校大学生，他们有各种各样的文化背景。这些参与者中同样有大量非在校大学生，甚至有人来自东印度尼西亚群岛的捕鲸部落、坦桑尼亚的游猎部落、智利和阿根廷南部的游牧部

落和原住民部落，等等。

这些研究的结果特点非常鲜明：不管参与者来自哪个国家，有怎样的文化背景，几乎都观察不到“参与者基本上都会自私行事”的结果。事实上在这个研究中，利他主义行为，也就是对给出金额过低提案的提案者进行惩罚的浅层次利他主义行为，是世界各地各种文化中的标准行为。

这类在世界各地各种文化中都能找到的行为，意味着这种行为并不仅仅是参与者自身文化传统导致的结果。事实上，这样的行为在不同的文化中都是一致的，这意味着这种行为源自于更为根深蒂固的因素。而这些因素太根深蒂固了，因而几乎可以肯定是我们的演化历史所导致的结果。

对合作和利他主义的其他研究　此类有关最后通牒博弈的研究表明了某种类型的合作和利他主义行为是很常见的，但同时也表明了总有一定百分比的参与者通常会自私行事。另外有一些研究探讨了这些自私行事的参与者是否受到了其他人行为的影响，如果是，那么是什么样的行为影响了他们。结果表明，答案明显是肯定的，而且利他主义行为对自私行事的参与者的行为产生了重要影响。这些研究还探讨了在什么条件下，这样的利他主义影响会奏效或者不奏效，并且关注利他主义影响会奏效的那些条件是否曾经在我们的演化历史上出现过。接下来我将对此类研究中的几项进行概括介绍。

这些研究的设置通常都会比最后通牒博弈研究的设置要稍微复杂一些，因此我将选取此类研究中的一个典型来进行概括描述，而不会讨论细节。在一个典型的此类研究中，实验设置与囚徒困境的实验设置多少有些类似。然而，与囚徒困境中仅有两人进行互动的设置不同，这里通常是4人或更多人进行互动。相互合作的人越多，整个小组的收益就越大。不过这个研究的设置是，对任何参与者来说，只有在自己自私行事而小组中其他人相互合作时才能得到最好的结果。当小组中大多数人都互相合作时，小组的整体利益增加了，然而，在小组成员通过合作所得到的利益中，那个自私行事的参与者会得到其中最大的一部分。

除此之外，此类研究通常也会设计让其他参与者可以惩罚那些自私行事的参与者，但在惩罚别人的同时，施加惩罚者也会受到极大损害。这同样也是一种利他主义行为，因为施加惩罚者对自己造成了伤害，但却很有可能为小组带来收益。

在这样的研究中，有一定百分比的参与者通常都会表现出采取这种利他主义行为的倾向。值得注意的是，这种利他主义行为通常对自私行事的参与者都会产生一定效果。具体来说，自私行事的参与者通常会停止自私的行为，从而为小组带来额外的收益。简言之，对做出利他主义行为的参与者本人来说，他做出利他主义行为后所得的收益比不这么做时要糟糕，但同时小组作为一个整体，收益则会增加。

值得注意的是，这样的利他主义行为从演化上来看并不一定是一种稳定的策略。也就是说，可以表明（通常都是通过电脑模型实现的）在某种情境下，采取此类利他主义行为的参与者在繁殖过程中并没有足够多的优势，从而无法保证这种利他主义行为倾向可以在群体中保留下来。然而，在其他情境下，此类利他主义行为从演化上来看可以是一种稳定的策略。

另外一些研究探究了在什么样的条件下，这一类的合作和利他主义行为会成功或者不成功。此类研究表明，这类行为可以成功的条件极有可能在现代人类首次出现时，也就是距今大约100000年到200000年时就出现过。这些条件包括小规模的群体（早期人类几乎肯定都是在规模相对较小的社群中活动）、群体成员的迁入迁出相对较少（这同样是一个极有可能出现在早期人类群体中的条件）、与其他群体极有可能有激烈竞争（早期人类不同群体之间竞争和冲突的程度还远不明了，但是如果这种竞争和冲突很普遍，也并不会让人惊讶）。简言之，有理由认为，此类利他主义行为可以成功的条件极有可能是出现在现代人类从与其他人类种类（现在已经灭绝）最后的共同祖先分支出来的时候，也就是在大约100000年到200000年前。

同样地，这些都只是初步结果，但已经很好地表明了在对包括合作、利他主义、惩罚、信任（接下来我将会进一步探讨）等与我们的伦理行为有关的命题进行以经验为基础的研究时可以使用的某些方法。尤其是，我们的演化历史在塑造我们的伦理倾向方面发挥了重要作用，这一点已经变得越来越明确了。尽管还有很多研究可以做，但很明显，前面所提到的这些以经验为基础的研究探讨了我们通常所认为的伦理行为的演化优势和劣势，它们将继续帮助我们理解伦理倾向的起源。

信任博弈　在结束这一节之前，我想对关于我们伦理倾向的相关研究进行一个简短的概述。这些研究表明了在另一个层面上对这些倾向进行研究时可以使用的方法，而这里所说的另一个层面就是生物化学层面。

在种类繁多的人类互动中，包括在伦理互动中，信任都是一个关键因素。举个例子，根据你我彼此之间信任程度的不同，我们对彼此所做出的行为会完全不同。这些行为包括涉及道德因素的行为，比如我们是否彼此分享食物等资源。重申一下，如果我们信任彼此，那么我们的所作所为就会跟不信任彼此时完全不同。

近些年来，研究人员开始研究某些生物化学因素对信任行为的影响。思考一下下面这个被其作者称为信任博弈的研究。与最后通牒博弈一样，这个博弈同样涉及在两个参与者之间分钱。同样假设你和我在进行这个博弈。博弈开始的时候，你和我都得到了12美元。让我们把我的角色称为“给予者”，把你的角色称为“分享者”。我的角色是把我的一部分钱给你。具体来说，我可以选择给你0美元、4美元、8美元或12美元。

不管我给你多少钱，实验组织者都会额外给你两倍于此的钱。举个例子，如果我拿出4美元给你，实验组织者会额外给你两倍，也就是说他们会额外给你8美元。因此，现在除了最初的12美元，你还有我给你的4美元，加上实验组织者额外给你的8美元，这样一共是24美元。如果我把全部12美元都给你，实验组织者仍然会给你两倍，也就是额外给你24美元，加上你最初的12美元，你就总共得到了48美元。

根据我给你的钱数，也就是0美元、4美元、8美元或12美元，你手中最终的钱数会是12美元、24美元、36美元或48美元。此时，你会如何与我分享你的钱，甚至你是否会与我分享，都已经完全取决于你了。你可以分给我0美元到48美元之间的任意金额。重点是，与最后通牒博弈不同，我无法选择拒绝你。重申一下，一旦我给了你一部分钱，我对整件事的后续发展就再也不会产生影响，最终我们每个人可以拿到多少钱，完全由你决定。

这个博弈的回报情境可以总结为图28-3中的回报矩阵。其中，每一个我可能给你的钱数下面都有一个大格子，格子里是我的每个选择可能产生的回报。

从某种意义上说，这是一个比最后通牒博弈更难应付的博弈。如果我只考虑自己的利益，而且认为你也会如此，我不会分给你一分钱。原因很简单，如果我认为你只会考虑个人利益，那么自然就会认为不管我给你多少钱，你都会自己留起来。所以，如果我一分钱都不给你而是全都留在自己手里，我会得到更好的结果。另一方面，如果我相信你不会只考虑个人利益，那么我就会分给你一些钱，相信你会把从实验组织者那里得到的额外收益分给我一些。简言之，这个博弈的结果很大程度上取决于参与者是自私行事还是相互合作，参与者如何预估对方的行为，以及最重要的是，取决于给予者对对方有多少信任并且希望对方能分给自己多少钱（如果对方会分的话）。

给予者的选择

把下面某一个金额分给分享者

分享者的选择

以其中一种方式分享这些钱

\$0	\$4	\$8	\$12
(12, 12)	(24, 8)	(36, 4)	(48, 0)
(11, 13)	(23, 9)	(35, 5)	(47, 1)
(10, 14)	(22, 10)	(34, 6)	(46, 2)
⋮	⋮	⋮	⋮
(2, 22)	(2, 30)	(2, 38)	(2, 46)
(1, 23)	(1, 31)	(1, 39)	(1, 47)
(0, 24)	(0, 32)	(0, 40)	(0, 48)

图28-3　信任博弈回报矩阵

这个实验发现几乎没有给予者会因为完全的不信任而选择不把钱给分享者，同样地，也几乎没有分享者完全自私行事而不与给予者分钱（也很少有人只分很少的一部分钱）。考虑到在前面一节中讨论过的实验结果，这样的结果可能就一点儿都不令人意外了。

仅这个实验结果就为我们的行为提供了额外数据，与前面讨论过的数据非常相似。但是，在这个实验中，实验组织者感兴趣的主要是与信任的生物化学基础有关的因素。用非人类参与者进行的研究表明，一种叫催产素（一种与神经元间交流有关的分子）的神经递质会影响社会行为。研究人员好奇的是，催产素是否会影响信任博弈参与者之间的信任程度。（顺别提一句，不要把催产素和奥施康定混淆了，后者是近期新闻里常见的止疼药。）

这个研究的结果让人印象深刻。催产素可以大幅提高信任程度。在参加博弈前，大约半数的给予者都被注射了催产素，而剩余给予者则被注射了安慰剂（在一个好的实验中，这个步骤将用双盲法进行，也就是说，参与者和研究人员都不知道哪些参与者接受了催产素、哪些接受了安慰剂）。那些接受了催产素的给予者，他们的信任程度急剧上升，这主要反映在他们愿意分给分享者的钱数大幅增多了。

在此基础上，研究人员继续探究这些效果是否可以归因于信任以外的其他因素。简单来说，这些额外的研究强有力地表明，产生前面的结果是因为催产素对参与者的信任程度产生了影响，而不是因为其他因素的影响。

正如前面提到过的，信任在我们的大量行为中都发挥了举足轻重的作用，包括友谊、政治、经济和几乎所有的社会互动。信任在我们的很多道德行为中也扮演核心角色。就像前面讨论过的，你和我如何对待彼此，包括我们采取在道德上认为值得称赞的行为，比如与他人分享食物和其他资源、帮助彼此渡过难关等，起决定性作用的因素就是你我是否信任彼此。前面所概述的这些还都是初步研究，但已经可以为我们解释道德行为背后的生物化学影响了。

演化与规范伦理学

前面概述的研究适用于对元伦理学的思考，比如有关我们伦理倾向起源的思考、这些倾向曾经在我们的历史上带来过哪些优势等诸如此类的思考和问题。然而，演化思考是否可以解释我们应该 如何行事呢？简言之，演化思考是否可以解释规范伦理学？

一个常见的观点是这个问题的答案是“不可以”。然而另一方面，近些年来，有些学者则认为答案是相反的。在接下来的三个小节中，我们将首先探讨一下传统观点，也就是认为演化思考无法解释规范伦理学的观点。然后，我们将讨论一下两个认为答案是“可以”的阵营，不过关于演化思考对规范伦理学产生了怎样的影响，这两个阵营得出的结论是不同的。

自然主义谬误　为什么演化思考无法解释规范伦理学，或者说至少无法深入清晰地解释规范伦理学？这一小节的重点是对这个问题的一个标准解释进行概述。这一解释背后的基本想法，最著名的阐述是休谟（我们在第6章里首次对休谟进行了讨论）在18世纪给出的。休谟注意到了，许多人身上都有一种倾向，那就是在没有额外正当理由的情况下，就会从“这个和那个是 这样”的“实然”表述转变成“这个和那个应该这样”的“应然”表述。休谟还指出，从“实然”并不能有逻辑地推理出“应然”，至少在没有提供更多理由的情况下是不能的。

重点是要意识到，与对休谟观点通常的字面表述相反，休谟并不是说绝对无法从“实然”推理出“应然”。事实上，休谟指出的是，这个推理过程还需要“实然”以外的额外前提。而且他指出，几乎没有人在基于“实然”推理出“应然”时给出过这类必需的额外前提，即使有人给出过，那也是极少数。

在过去一个世纪里，这个从“实然”推理出“应然”的问题被称为“自然主义谬误”。更精确地说，“从实然到应然”的命题是自然主义谬误的版本之一。（自然主义谬误的其他版本将在章节注释里进行简要讨论，但与这里的讨论无关。）按照惯例，我也将用“自然主义谬误”这个术语来指代这个问题，也就是，至少在没有额外理由的情况下，人们无法从一个“实然”表述推理出一个“应然”表述。

对任何一个以演化观察为基础的简单伦理理论来说，自然主义谬误

的关联性都是直接明确的。举个例子，思考一下利他主义行为。我们在前面讨论过了，利他主义行为是对做出这一行为的人有害但是却会让其他人受益的行为（比如，冒着生命危险从火场中救人）。在前面的几个小节里，我们也讨论了，关于利他主义行为如何能从自然选择过程中脱颖而出，已经有了大量有趣的研究。假设相关研究继续延伸，就能进一步解释“我们的利他主义倾向是如何提供演化优势的”，尽管我们对此已有的解释已经相当完善且令人信服了。

这就是一个“实然”表述的例子，也就是说，实然，人类具有利他主义倾向，因为这种倾向在过去带来了演化优势。由于自然选择，这样的倾向一直持续出现在现有的人类群体中。

然而，即使这个“实然”表述是正确的，也不能推理出“应然”，也就是人们应该按照利他主义来行事。事实性表述，比如“实然”表述，最多说明了事物是什么样子的，而不是事物应该是什么样子的。总的来说，如果仅考虑“应然”表述本身，它们并不是仅以“实然”表述为基础就能靠逻辑推理得出的结果。

对我们演化起源的经验性研究，包括本章前几节中讨论过的那些研究，应该都是描述性的，也就是说，它们最多是为“我们伦理倾向的演化起源是什么”的“实然”表述提供了证据。然而，由于规范伦理学的目标是提供“我们伦理倾向的演化起源应该是什么”的“应然”表述，而且，如果我们接受了“无法仅凭‘实然’表述就合理地推理出‘应然’表述”的观点，那么结果就是，演化思考无法（至少无法直接明确地）为我们提供任何关于规范伦理学命题有价值的见解。

以上就是对涉及演化论和规范伦理学的普遍观点的概述。并不是所有人都认同这个观点，然而，尽管如此，这还是非常普遍的观点。接下来，让我们探讨另外两个观点，这两个观点都认为演化思考可以给我们带来关于规范伦理学的重要见解，尽管两者之间也存在巨大差异。

霍特：演化为规范伦理学提供了基础。 我想概述的第一个观点来自约翰·霍特。这些观点从很大程度上来说是对我们在前一节中讨论过的有关演化和宗教观点的延伸，因此在这里我将仅简要概述。

霍特同意我们的规范伦理学倾向是演化过程的产物，但并不认为这在某种程度上说破坏了道德，而是认为演化论使我们对自己伦理行为的基础有了更好的理解。霍特还认为，演化思考使我们更深入地理解了为什么我们应该依据道德行事，因此，从这个意义上说，演化思考与规范伦理学是直接相关的。

回忆一下，对霍特来说，宇宙中秩序和无序之间的平衡是至关重要的。这样的平衡使宇宙可以按照自然规律发展，也就是所谓的“被吸引着向未来发展”，然而同时，这也是一种全新而不可预测的发展方式。因此，宇宙的发展并不是依照一种设计好的或者确定的路径，而是仅有一

个大致方向，这样的发展就使宇宙可以有某种有趣的目的。

正如在前面讨论过的，霍特认为演化不仅与前面描述的情形一致，而且起到了进一步加强的作用。我们的演化起源是宇宙发展方式的一部分。具体来说，在促使现代人类出现的过程中，道德是关键的一个部分；而对于事物未来将如何发展，道德也是关键的一个部分。演化思考帮助我们更好地理解我们的道德情感，更好地理解我们的伦理行为对这个不断变化、不断发展着的宇宙做出了怎样的贡献，又是如何与这样的宇宙保持一致的。

假设我们接受了霍特的解释，那么，如果我们依据现在认为是由我们的演化历史所带来的道德倾向（也就是依据伦理规则）行事，我们就是在推动各种正在进行的发展和过程，这些发展和过程正是宇宙的组成部分，也正是霍特所认为的宇宙目的的一部分。根据这个观点，我们的伦理行为是一个更宏伟图景的组成部分，借用霍特在多个场合使用过的表达，这样一来，我们的道德就有了整个宇宙来撑腰。因此，理解我们道德行为的演化起源，理解我们的道德行为是如何融入这个更宏伟图景的，都将有助于我们理解为什么我们应该依道德行事。从这个角度来说，演化思考为我们对规范伦理学的理解做出了贡献，这并不是因为我们从演化思考中演绎推理出了某些特定的道德行为，而是演化思考使我们更深入地理解了为什么我们应该依道德行事。

鲁斯和威尔逊：规范伦理学是我们演化遗传的一个错觉。 很多学者，比如迈克尔·鲁斯、爱德华·威尔逊、理查德·道金斯等，都像霍特一样认为演化思考可以提供关于规范伦理学的见解。但是他们所认为的见解却相当不同。这一小节的主要任务就是简要描述这些学者关于演化对规范伦理学影响的观点。

首先，有一点毫无争议，也值得一提，那就是新发现通常都会改变我们对其所涉及的核心概念的理解。举一个例子，思考一下牛顿科学中的一个核心概念——质量。在前面关于广义相对论的一章（第24章）里，我们讨论过，牛顿物理学中的两种质量表现形式是如何被发现的，这两种形式通常被称为“重力质量”（重力质量的效果包括当你身处像地球这样的重力场中时你所感受到的重量）和“惯性质量”（惯性质量的效果包括在加速运动时你所体会到的重量感）。然后，在第24章中我们还看到，我们对于质量的理解是如何随着爱因斯坦广义相对论的发展而改变的。最为引人注意的是，在广义相对论中，重力质量和惯性质量之间的差异消失了，因此两者之间不再有区别。简言之，接受了广义相对论，我们关于质量的概念也就随之发生了变化。这个情形并不少见，新发现的出现通常都需要我们改变自己对某些概念的理解。

再举一个例子，在亚里士多德生活的时代以及亚里士多德世界观占主流的漫长年代里，重量概念所指的是把一个物体放在天平上时所产生的效果。具体来说，重的物体之所以被认为是重的，原因在于它们在天平上比轻的物体替代了更多的砝码，而且两个物体在天平上所替代的砝

码的相对数量就告诉了我们这两个物体之间的相对重量。后来，随着牛顿研究的出现，对重量概念的理解转变成了物体质量在重力场中的体现。

以上就是关于重量的两个相当不同的概念。举个例子，根据早期的重量概念，一个物体的重量会根据其下落速度而变化，如果我们有两个大致相同的物体，只是其中一个的下落速度是另一个的两倍，那么那个以两倍速度下落的物体，其重量也就变成了两倍（因为它在天平上所替代的砝码数量会变成两倍）。根据早期的重量概念，这是很普通的正确说法，但是根据后来的重量概念，这听起来就很荒唐了（而且很有可能正是因为没能体会不同概念间的区别，才导致了对将物体重量与下落速度相关联的早期观点的严重误读）。

这些关于质量和重量的例子说明了一个关键点，也就是经验发现通常会改变我们对基本概念的理解。本节开头提到的那些学者也会同意，涉及演化的经验发现没有理由会有所不同。具体来说，如果（而且很有可能）出现了一个共识，那就是我们的伦理感受、对是非的感受、对道德正确和不正确行为的判断、对在道德上值得称道和应受谴责的行为的判断等都来自于我们的演化遗传，而且我们也已经更好地理解了这些伦理倾向的生物和演化基础，那么几乎不可避免的是，这将改变（而且是大幅改变）我们对这些关键伦理概念的理解。

具体来说，很多学者，包括本节开头提到的那些学者，都认为有关我们伦理倾向的演化思考迫使我们改变对规范伦理倾向核心部分的理解。以通常伴随我们道德判断出现的“客观性”为例。随着我们对道德演化起源的理解逐渐深入，极有可能出现的情况是，尽管我们通常觉得自己的道德判断很客观，但事实上它们一点儿都不客观。道德来自于人类天性，而我们的天性之所以如此则在于我们的演化历史。简言之，这些学者的观点是，我们的道德情感之所以如此，是因为它们带来了演化优势，而不是因为它们反映了世界的客观特点。

然而，这些学者同时认为，“道德是客观的”这种感觉对道德完成其演化任务至关重要。也就是说，道德判断的表面客观性是道德的一个关键组成部分。当我们听到谋杀、强奸、虐待儿童等案件时所感受到的道德愤慨，以及认为这些行为完全错误的感觉，也就是我们所体会到的那种“在表达道德愤慨时并不只是表达了偏好，同时也表达了事实”的感觉，对道德所扮演的演化角色至关重要。这些学者认为，如果没有这种对“客观性”的感觉，道德在我们的演化历史中所发挥的作用就不可能存在了。

不过，现在我们可以看到，根据我们对道德情感演化起源的理解，这种对客观性的感觉是一种错觉。这是一种很重要的错觉，它一直被认为是理所当然的，而且并不会在被指出后消失，但无论如何，这都是一种错觉。

那么关于规范伦理学，也就是关于“我们应该如何行事”的问题，这个观点给了我们怎样的答案呢？这些学者认为，重点是这个关于我们伦理倾向的新理解并没有改变我们道德行事的标准。具体来说，它并没有导致我们去做一些被认为不道德的行为。

做个类比可能会有助于解释这一点。存在一个广泛共识是，颜色现象，比如我们对红色的体验，也就是对红色的红色属性的体验，可以说并不是那些在我们看来是红色的物体的客观特点。事实上，物体看起来是红色的，是因为我们的视觉系统演化如此，因为我们的视觉系统对接触到我们视网膜的特定光线反馈为如此。如果像我们这样有这种视觉系统的有机体从来不曾存在，那红色这个属性就不会存在了。这个红色属性是我们的视觉系统（以及其他有机体的视觉系统）对光线某些特点进行反馈的一个主观特点，而不是这个世界的一个客观特点。

然而，即使我们理解了像红色这样的颜色并没有客观性及其背后的原因，我们也将继续而且肯定会继续认为某些种类的物体是红色的。我们生来如此。同样地，鲁斯等学者认为道德就是我们生来如此的一部分。就像我们不能下决心不再把某个品种的成熟苹果看成红色，我们也不能下决心从此不再把某些行为视为道德上不正确的行为。

这里的一个重点，同时也是容易被忽略的一个区别，就是这些学者并不是说道德不是真的。道德是真的，同样地，红色属性也是真的。道德和红色属性只是不是客观的。由于我们生来如此，就出现了道德和红色属性这样的主观特点，而且它们的出现在很大程度上是因为它们具有演化上的优势。如果人类（或者类似有机体）不曾存在，那么不管是红色属性还是道德就都不会出现了。不过，人类确实是存在的，我们确实拥有过去那些演化历史，我们也确实拥有视觉系统和道德情感。红色属性和道德是真的，但它们并不是这个世界客观而独立存在的特点。因此，重申一下，对“客观性”的感觉是一种错觉。

下一个关键点就有些微妙了，这里，我将重点聚焦于鲁斯所提出的观点。让我们回到在前面关于自然主义谬误一节中讨论过的“应然/实然”命题。回忆一下，这个命题的基本点是我们无法仅从一个“实然”表述就演绎推理出一个“应然”表述，至少在没有提出额外前提的情况下是无法做到的。鲁斯会同意这一点。他还会同意，演化思考是描述性的，也就是说，演化思考是“实然”表述。因此关于规范伦理学，演化思考如何可以对我们有所启发？

请注意，当试图从一个“实然”表述演绎推理出一个“应然”表述时，据说自然主义谬误就发生了。然而，鲁斯认为，演化思考并没有告诉我们如何演绎推理出规范伦理学表述；事实上，演化思考所做的是对规范伦理学表述进行解释。举个例子，演化思考可以解释为什么我们会有我们的规范伦理倾向，这些伦理倾向过去是如何具有优势的，现在又如何可能具有优势，为什么这些伦理倾向会令人产生客观的感觉，等等。不过，解释了这么多之后，关于规范伦理学命题，也就没有更多需要解释

和需要做的了。

将这个观点与对规范伦理学的传统看法进行对比，有助于进一步说明这一点。对规范伦理学的标准研究角度是对某一个具体的规范伦理学理论进行论证维护。以被称为“功利主义”的规范伦理学理论为例。这个规范伦理学理论的基本原则是“为最多数人谋得最大幸福”。也就是说，根据这个观点，我们应该尽己所能为最多数人谋得最大幸福。（我在这里所描述的实际上是某种简化了的功利主义，但已足以说明我想表达的观点。）因此，如果你发现自己身处一个特定的情境中，比如需要决定哪个患者能够得到器官移植所急需的器官，而你恰好是一个坚定的功利主义者，那么你会计算哪个选择可以实现“为最多数人谋得最大幸福”的原则，这个选择就是你应该做的。

请注意，在这样传统的研究角度中，规范伦理学是如何被运用于演绎推理并得出什么样的行为是我们应该做的。然而，鲁斯和其他许多学者都认为，我们对自己伦理倾向起源的理解要求我们放弃这种规范伦理学概念。他们的观点是，演化思考告诉我们道德行为背后并不存在根本原因，也不存在可以使我们演绎推理出道德上正确的行为的规范伦理学根本原则。我们理解了自己道德情感的演化起源，就意味着不能再用任何客观的根本原则来评判这些道德情感。从这个角度来看，演化理论的发展对规范伦理学产生了深远影响，它们迫使我们有关“规范伦理学如何发挥作用”的传统观点产生了巨大改变。

简言之，就像我们关于重量和质量的早期概念随着新科学发现的出现而改变，关于演化的发现也迫使我们改变了对“规范伦理学如何发挥作用”的理解。对规范伦理学的传统认知，也就是认为可以根据道德原则演绎推理出正确行为，正是演化思考要求我们放弃的认知。演化思考解释了我们的规范伦理学倾向（毫无疑问，随着研究的深入，会有更多相关疑问得到解答），但除此之外，已经没有什么需要解释的，也没有什么需要规范伦理学来做的了。

| 结语 |

在前面几章中我们看到了，17世纪的新发现要求我们的前人反思他们长久以来一直笃定为经验事实的核心观点。然而，这些新近发现对我们的核心观点所提出的挑战，至少在我看来，是更加巨大和严峻的。在前面几章里，我们探讨了诸如相对论和量子理论这样的发现，而在刚刚结束的这两章里，我们一直聚焦于演化理论。可以说，像相对论和量子理论一样，演化论迫使我们认真反思一些长久以来存在的基本观点。看起来很明确的是，我们已经无法重拾过去的观点了。事实上，与生活在17世纪早期的前人一样，我们现在也可以看到自己整体的世界观需要发生大幅度改变，但是要看清楚什么样的新世界观会出现，现在还为时尚早。我们生活在一个有趣的时代。

在结束之前，我想最后再进行一点与前面这个命题相关联的评论。

似乎存在一种普遍的观点，那就是演化观点强加于我们某种关于宇宙和我们在宇宙中位置的悲观且无趣的观点。然而，事实上，不需要从消极角度来看待演化观点。演化迫使我们用一种非常不同的方式来看待我们在一个宏伟图景中的位置。我认为，这个不同的方式并不会是一个更糟糕的方式。

我想举个例子，而且我得承认，我个人很喜欢“人类只是世界上现有上千万物种中的一种”的想法，也很喜欢“我们跟每一种现存的以及在我们之前就已经灭绝的有机体都有关联”的想法。我很幸运，曾经在世界上许多不同地方生活过，也去过很多地方，令我感到欣喜的是，不管在哪里，我所看到的新植物群和动物群都是一个大家族的一部分。这是一个很美妙的观点，也就是地球上的每一种有机体，包括每一种植物和每一种动物，都与我们有亲缘关系。没有理由用消极的态度来看待这个观点。

达尔文似乎也有同样的感受。在他1844年一篇未发表的综述其观点的文章中，以及在出版于1859年的《物种起源》中，达尔文都用下面这段常常被引用的优美文字作结：

生命及其蕴含之力能，最初注入到寥寥几个或单个类型之中；当这一行星按照固定的引力法则循环运行之时，无数最美丽与最奇异的类型，即是从如此简单的开端演化而来、并依然在演化之中；生命如是之观，何等壮丽恢弘。（Darwin，1964，p.490）[1]

围绕演化的发现给我们带来了巨大的改变。然而，就像达尔文所指出的，“生命如是之观，何等壮丽恢宏”。

[1] 达尔文.物种起源[M].苗德岁，译.南京：译林出版社，2018：510.

第29章　世界观：总结思考

在最后这一章中，我们将整体回顾一下到目前为止的讨论，对前几章中探讨的发现所带来的某些影响进行思考，并推测一下我们的世界观可能需要发生的某些改变。

| 概述 |

在本书的开头，我们探讨了亚里士多德世界观。这个世界观是一个像拼图一样、环环相扣的观点体系，其中每一块拼板都可以很好地拼合在一起。宇宙是有意义的。在那个拼图里，我们感到对所有重要的问题都有了很好的理解，比如宇宙结构、我们在宇宙中的位置、事物如何运转以及为何如此，等等。

我们不仅得以解答有关这个世界的单个问题，同时对宇宙是什么样子的，也就是我们居住在怎样的宇宙中，也有了一些理解。宇宙是有目的的，有本质存在，这个有目的的宇宙之中充满了为了本质的、内在的和自然的目标而运转的物体。这个画面看起来非常完整、清晰，而且正确无误，因此我们发现亚里士多德本人都认为对宇宙的理解已经非常完整全面了，剩下的只是用一些细节来填补某些细小的缝隙。通过这些，亚里士多德表达了一个后来每个时代都在重复的观点，甚至时至今日仍是如此。

在亚里士多德世界观中，一个常见的隐喻是把宇宙当作一个有机体，这也是通常在思考我们居住在怎样的宇宙时所用的方法。就像有机体由许多部分组成，这些部分各自发挥其功能来实现其目标，比如心脏负责抽送血液，消化系统负责处理食物等，宇宙也被认为是由许多部分组成的，每个部分都有其天然的功能和目标。我们理解了，或者说认为理解了，我们居住在怎样的宇宙中。

从第19章到第22章，我们探讨了从亚里士多德世界观向牛顿世界观的转变。我们看到了，随着17世纪新发现的出现，组成亚里士多德世界观的观点拼图不能再维系。这个世界观中的某些错误观点，比如正圆事实和匀速运动事实，过去看起来是相当直接明确的经验事实，然而后来都被证明是错误的哲学性/概念性事实。这一世界观中的其他一些观点，比如“地球是宇宙中心”的观点，虽然有直接观察结果和完备的推理作为支撑，但后来仍被证明是错误的。

我们看到了，在亚里士多德观点拼图中，需要摒弃的并不仅仅是某个位于边缘位置的观点拼板。事实上，需要替换的是这个拼图中的核心拼板，而且随着核心拼板的更换，整个观点拼图实际上都已经发生了改变。值得注意的是，亚里士多德世界观后来被证明在很多方面都是错误的。换句话说，并不是亚里士多德世界观拼图中的单个观点拼板被证明是错误的，而是亚里士多德世界观拼图被证明是一个错误的拼图。宇宙

被证明完全不是亚里士多德世界观中所认为的样子。宇宙完全不像是一个有机体。

我们看到了，一个与新科学发现相一致的新世界观拼图替代了亚里士多德世界观拼图。这个新世界观拼图，也就是牛顿世界观，似乎非常行之有效。拼图中的拼板很好地拼合在一起，宇宙也是有意义的。对一些重要的问题，我们也得到了答案，包括宇宙的结构、事物如何运转，等等。

同样地，我们不仅对关于宇宙的一些重要问题有了答案，还对我们居住在怎样的宇宙中有了很好的理解。我们居住在一个机械的宇宙中，其中物体的运转模式在很大程度上都是因为作用在这些物体上的外力。我们可以理解这些作用力，并用数学定律来精确描述它们。

同样地，牛顿世界观也有一个很好的隐喻来总结我们所居住的宇宙。在牛顿世界观中，我们开始认为宇宙像一台机器。我们认为，组成宇宙的物体彼此之间存在相互作用，就像一台机器的零件之间存在相互作用。就像机器零件是通过推拉其他零件而产生彼此之间的相互作用，我们认为宇宙中的物体也通过这样一种机械的方式来产生相互作用。在这种“宇宙像机器”的观点之中，隐含的概念是“物体之间的相互作用是定域的”，也就是一个物体只能对与其有某种关联的物体产生影响。这些组成部分按照我们认为自己所理解的方式共同运转，像亚里士多德一样，我们认为自己几乎已经完全理解了这个世界。

我们大致理解了自己在一个关于宇宙事物宏伟构图中的位置。我们不再位于宇宙的物理中心，但从另一个角度来说，我们认为自己仍然在造物的中心。根据通常的观点，生命是神圣影响力的产物。还有什么别的因素可以解释在有生命的有机体身上发现的明显设计呢？伴随这个观点而来的，自然就是认为人类位于生命的顶端，是特别的存在。

前面这一切在很长一段时间内都是行之有效的。然而，随着新近科学发现的出现，我们看到相对论和量子理论对“我们居住在怎样的宇宙中”这一问题产生了深远影响，而演化论在我们对自己在宇宙中所处位置的认识方面，也产生了同等重要的影响。这些新发现只要求我们改变旧的牛顿世界观拼图中某些外围拼板吗？还是就像17世纪的新发现带来的巨变一样，我们不得不因此放弃牛顿世界观拼图中的核心部分？接下来，我们将对这些问题进行探讨。

| 对相对论的思考 |

乍看起来，相对论似乎有非常深远的影响。相对性的推论，比如对不同的观察者来说空间和时间可以是不同的，与我们对空间和时间的强烈直觉是矛盾的。同样地，我们通常认为（而且很坚定地认为）空间和时间是绝对的，即大致上来说，不管在什么地点、对什么人来说，空间和时间都是相同的。

这些关于空间和时间的观点（即空间和时间是绝对的），在牛顿的《原理》中可以找到明确的表述。然而，事实上，这个观点的出现远早于此。至少追溯到古希腊时期，就可以隐约找到“空间和时间是绝对的”观点。简言之，绝对空间和时间的概念至少在很久以前就已经隐约存在了，而在牛顿世界观框架里可以找到对这个概念的明确表述。

不过，假设我们思考一下，在牛顿世界观的观点拼图里，绝对空间和绝对时间更像是核心观点还是外围观点呢？毫无疑问，牛顿本人，以及我们大多数人通常都坚信空间和时间是绝对的。然而，回忆一下我们在第1章中的讨论，判断一个观点是核心观点还是外围观点，并不是根据人们对这个观点的笃信程度。事实上，两种观点之间的区别在于，如果替换这个观点，也就是拼图中的一块拼板，是否会改变整个观点拼图。

从这个角度来看，绝对空间和绝对时间的观点尽管根深蒂固，但并不是核心观点。在牛顿世界观的框架里，即使改变了这些观点，整个观点拼图也不会发生实质性变化。替换这些观点当然需要同时替换其他某些观点，但却不需要把前面提到的机械论的牛顿世界观整个替换掉。你可以继续认为组成宇宙的物体彼此之间以机械的方式相互作用，这个方式也就是一种可以用定律来精确描述的方式。必须改变的是我们对某些命题的理解，比如事件发生的地点和时间，但如前所述，整体的牛顿世界观拼图多少可以保持不变。简言之，尽管对空间和时间并不绝对的发现令人感到意外（实际上我认为是非常出人意料的），但这些事实与机械论的牛顿世界观拼图是一致的。

时空曲率以及相对论对重力颇为不同的定义（即区别于牛顿世界观通常对重力的描述）所带来的影响，也存在类似的情况。发现时空本身会由于物质的存在而受到影响并产生弯曲，令人感到惊讶。同样令人惊讶的是，发现我们一直认为理所当然的对重力的定义（也就是将重力定义为一种吸引力的现实主义概念），如果从相对论对重力定义的角度来考虑，最多只能作为一种工具主义态度来保留。

不过，尽管非常出乎意料，但这些发现和推论并不需要我们摒弃牛顿世界观拼图中的核心拼板。也就是说，我们既可以接受时空曲率和相对论对重力的定义，也不需要对机械论的牛顿世界观拼图进行全盘大规模改变。

这并不是说相对论没有什么重要的影响。即使前面讨论的这些影响不需要我们摒弃牛顿世界观拼图中的核心拼板，但也绝不是无足轻重的（举个例子，就像对冰激凌的喜好是一种外围观点，相对论的这些影响并不是这样单纯的外围观点）。不过，暂时把“相对论迫使我们改变哪些具体观点”的命题放到一边，我认为，相对论真正更重要的影响是，它深刻表明了在一些看起来显而易见的命题上，我们犯了多么严重的错误。或者换句话说，它表明了哲学性/概念性事实伪装成显而易见的经验事实是多么容易。举个例子，我认识的所有人在了解相对论之前都认为空

间和时间对任何人来说都是相同的，而且把这当作一个显而易见的经验事实。大家知道，显然不会因为某人或某物恰巧在运动，时间就以不同的速度流逝，或者人们衰老的速度就奇迹般地放慢。大家知道，并不会因为某人或某物在运动，空间就被压缩了，就像在寒冷天气里的气球一样。这些看起来都是那么显而易见的经验事实。然而，这些事实后来不仅被证明并不是显而易见的，而且被证明是错误的。

再思考一下我们的前人关于正圆事实和匀速运动事实的观点，并把这些观点与我们关于绝对空间和绝对时间的观点比较一下。我们的前人认为，天体沿正圆轨道做匀速运动是显而易见的经验事实，他们每个人都知道，对任何只有最少量常识的人来说，这也是显而易见的。但从我们的角度，也就是从一个颇为不同的世界观出发来看，人们能对诸如此类观点如此深信不疑，实在是非常奇怪。大多数人在第一次了解到正圆事实和匀速运动事实时，反应都会是："为什么会有人相信这些？"

不过，现在思考一下我们的后人。在某个时候，他们会用同样的方式来回顾我们的观点。我们的孙辈和曾孙辈，在回顾我们的时候也会纳闷，为什么我们会相信诸如"空间和时间对每个人都一样"的奇怪观点。

简言之，我们错把绝对空间和时间当作了经验事实，就像我们的前人错把沿正圆轨道进行的匀速运动当作了经验事实一样。在这两个例子里，原本看起来显而易见的经验事实后来都被证明是错误的哲学性/概念性事实。我认为，这才是相对论最重要的影响，因为这生动地表明：一个看起来如此像常识、如此显而易见正确的观点，是如何被证明完全错误的。这应该让我们更加警惕，对其他看来显而易见的、不容置疑的事实，我们到底能多确定。因此，相对论并没有迫使我们改变自己世界观中的核心部分，而是让我们重新思考自己对这个世界的理解能有多大把握。

| 对量子理论的思考 |

与相对论相比，有关量子理论的新发现，特别是有关贝尔定理和阿斯派克特实验的新发现，其影响很有可能需要使牛顿世界观作为整体发生重要改变。根据牛顿世界观，宇宙被认为像机器一样运转。我们对于机器的核心认识是零件之间的推拉相互作用——齿轮推动其他齿轮转动、滑轮带动其他滑轮运转，但通常都是通过诸如连接带之类的某种关联，而且通常机器的一个零件只会影响与其有接触的其他零件。宇宙也是如此。我们坚信自己所居住的宇宙之中也有同样的相互推拉作用。物体和事件同样以机械的方式影响其他物体和事件，而且这种相互影响是定域的，也就是只有相互之间存在某种关联的物体和事件才能产生相互影响。

不过，根据阿斯派克特实验所揭示的新量子事实，似乎牛顿世界观中有关宇宙的核心观点已经站不住脚了。我们也许不理解这怎么可能，但是我们所居住的宇宙中，确实存在事件之间即时、非定域的相互影

响，甚至在地理位置相距很远、显然不可能具有任何形式的联系或关联的事件之间，也会存在这样的影响。任何人都不知道宇宙为什么会如此，只知道宇宙就是这样。

为了便于讨论，我将把远距离事件间的即时影响，也就是阿斯派克特实验所表明的那种影响称为“贝尔影响”。请注意，到目前为止已经得到证明的贝尔影响，比如阿斯派克特实验和类似实验所表明的结果，都与我们可能会划分到微观层面的实体有关，而不是与我们在生活中更容易注意到的日常物体有关。也就是说，尽管有关光子、电子和类似实体的即时影响已经被确定，但是至今并没有类似实验表明，在普通宏观物体（如书桌、树木、岩石等）之间存在贝尔影响。那么，有没有可能这种即时的、非机械的影响是仅局限于微观实体的？如果确实如此，我们可不可以继续坚持“宏观世界的物体按照牛顿世界观中机械的方式来运动”的观点，尽管我们必须摒弃“微观实体也按照这个规律进行运动”呢？

这个问题现在还没有确定的答案。不过，我的直觉是“不可以”。自最初的阿斯派克特实验以来，物理学家已经成功表明，在实体尺寸更大、距离更远的情况下，贝尔影响也存在。举个例子，现在已经证明，在两个大约有高尔夫球那么大的、彼此分离的原子集合之间存在贝尔影响。而其他实验也已经证明，在两个相距几英里而不是分布在实验室两端的物体之间，也存在贝尔影响。也就是说，在越来越多的实体之间，都已经证明有贝尔影响的存在，这些实体尺寸越来越大，相互之间的距离也越来越远。这个事实正是我们不能把非机械的贝尔影响仅仅局限于世界上小部分实体的原因之一。

促使我们这样做的另一个原因，来自于对历史的回顾。历史告诉我们，永远不要低估科学家的聪明才智，他们总能另辟蹊径，得到新的发现。过去，根本性的新发现带来了许多变化，包括理论、技术和概念等方面，而这些变化在新发现刚刚出现的时候甚至根本无法想象。我认为，对于我们所居住的宇宙中可以存在贝尔影响的发现，就是这样一个根本性的重要发现，是那种像雪球一样的变化。现在这个雪球还比较小，但是我猜它会变得越来越大，带来理论、技术和概念上的变化，关于这些变化，我们现在几乎都无法领悟。

如果在这一点上我是正确的，那么我们现在所处的时代在很多方面都与17世纪早期非常相似。在那个时候，很多新发现，比如那些与伽利略和望远镜有关的新发现，最终给我们带来了一个全新的方法来思考我们居住在怎样的宇宙中。今天，贝尔影响的发现也迫使我们放弃牛顿世界观中宇宙完全像机器一样的观点。我猜这只是冰山一角，这个发现会像17世纪的那些发现一样，让我们对自己所居住的宇宙形成非常不同的观点。

| 对演化论的思考 |

相对论和量子理论影响的是我们对自己所居住的宇宙的看法，而演

化论则主要影响了我们对自己在宇宙中位置的看法。如果我们全盘接受经验证据（实际上我认为必须如此），那么演化论中的发现就要求我们摒弃长期以来所秉持的“人类很特殊”的观点。我们必须接受人类是一个自然过程、而非超自然过程的结果；人类并不是位于生命的顶点，而是现存的1000多万种有机体中的一种，而且从演化论的角度来看，这1000多万种有机体都具有平等的地位。

就像在17世纪，我们的前人需要面对人类不再位于宇宙物理中心的发现，今天，我们也需要面对人类无论如何都不是宇宙中心的发现。意识到这一点后，我们就需要对宗教观点进行反思。然而，这并不是经验发现第一次迫使我们进行这样的反思了。在第20章中，我们讨论了牛顿对天体运动的解释使人们不再需要对这类运动的超自然解释。这反过来也需要人们反思先前关于“上帝”角色的概念（具体来说，是在对天体运动的解释中上帝所扮演的角色）。然而，当时我也提到过，宗教信仰通常都是根深蒂固的，17世纪的新发现迫使人们对上帝的概念进行反思，但并没有让人们完全摒弃宗教信仰。我猜未来几年也会出现这样的情况。我希望，随着对演化论影响的理解越来越深入，至少可以出现对传统宗教信仰的实质性反思，不过就像17世纪的情况一样，我猜这不太可能使人们完全放弃这些宗教信仰。

对我们某些基本伦理概念来说，情况也相似。正如在前一章中讨论过的，随着对人类伦理倾向演化起源的理解越来越深刻，我们很可能会对核心伦理概念进行反思。简言之，我们对人类演化起源的理解迫使我们重新思考自己在宇宙中的位置，而且几乎肯定会迫使我们重新思考宗教和伦理方面的传统观点。现在来预测到底会产生多大的变化为时尚早，但是，正如17世纪所发生的情况，这样的变化几乎肯定会出现。就像我前面多次提到的，我们生活在一个令人兴奋的时代。

新的观点并不一定会让人沮丧。就像达尔文所说的（我在第28章也试图表达过），这个关于生命的观点是非常宏伟的。我们的前人发展出了新的哲学性和概念性观点，这些观点都值得尊敬，也都与当时的经验发现一致，我相信未来我们也可以做到这些。

| 隐喻 |

在结束本书之前，我还有最后一点要讨论。正如前面提到过的，通常伴随着一个世界观，都会有一个广为接受的隐喻或比喻。再来梳理一下：在亚里士多德世界观中，宇宙被看作像一个生物有机体，各部分分别发挥其作用，从而共同实现天然的目标和目的；在牛顿世界观中，宇宙被看作像一台机器，各个部分通过推拉与其他部分发生相互作用，与机器里的零部件彼此发生相互作用的方式一样。

这类隐喻既很有魅力，又很有用——这一点很容易理解，因为它们提供了一种方便而又简单的方式来总结对宇宙的整体观点。不过，新近的这些发现都有一个有趣的特点，那就是它们所主张的宇宙与我们经历

过的任何事物都不一样。也就是说，阿斯派克特实验所表明的非定域影响呈现出的宇宙与我们所熟悉的任何事物都不一样。在这个宇宙中，两个无论如何都不存在任何联系的事物或事件之间可以存在即时的影响，这样的宇宙完全不同于与某个我们所熟悉的事物相似的宇宙。

请注意，正因如此，新近发展所主张的宇宙可能是一个无法用任何方便的隐喻来总结的宇宙。我们所居住的宇宙可能像一个——好吧，可能与我们所熟悉的任何事物都不像。这是有史以来（至少是有记录的历史上）第一次，我们没有隐喻可以用，而且我们可能已经来到了一个分割点，也就是，从今往后，我们可能再也无法用一个方便的隐喻来总结自己所居住的世界了。

即便如此，关于宇宙的某个概括性观点还是很有可能出现的。尽管要预测这个观点具体是什么还很困难，但我们的子辈和孙辈似乎很有可能发展出一个与我们截然不同的宇宙观。这个宇宙观的基础很有可能不仅是我们在本书第三部分中所讨论的新发现，还有现在正在发生的和不久的未来将要发生的各种发展。还是那句话，我们生活在一个有趣的时代，请继续关注。

章节注释和推荐阅读书目

接下来，我将对本书中的各个章节进行注释，并推荐阅读书目。在此之前，让我先列出几个一般性建议。接下来将提到的著作我之所以推荐，主要在于，如果你对本书中的某些话题感兴趣，希望进一步探索，那么这些著作将为你提供一个良好的开端。

科学史

关于整体的科学史，梅森的《科学史》（A History of the Sciences）（Mason，1962）是一本绝佳的单册读物。梅森对从古巴比伦和古埃及时期开始到20世纪的科学进行了概述。尽管这是一本单册读物，但梅森的书里有数量惊人的细节。林德伯格的《西方科学的起源：公元前600年到公元1450年之间，在哲学、宗教和制度语境中的欧洲科学传统》（The Beginnings of Western Science：The European Scientific Tradition in Philosophical，Religious，and Institutional Context，600 BC to AD 1450）（Lindberg，1992）对古时候和中世纪的科学进行了更详细的介绍，而库恩的《哥白尼革命：西方思想发展中的行星天文学》（The Copernican Revolution：Planetary Astronomy in the Development of Western Thought）（Kuhn，1957）是探讨16和17世纪变化的经典著作。科恩的《新物理学的诞生》（The Birth of a New Physics）（Cohen，1985）是对这些变化更为概括、更加易懂的介绍。关于新近的发展，克劳的《量子世代：20世纪物理学史》（Quantum Generations：A History of Physics in the Twentieth Century）（Kragh，1999）全面完整地介绍了19世纪末期以来的物理学发展史。佩因森与希特-佩因森合著的《自然的仆人：一部科研机构、进取精神和科学情感的历史》（Servants of Nature：A History of Scientific Institutions，Enterprises，and Sensibilities）（Pyenson and Sheets-Pyenson，1999）则从某些不同而重要的角度描述了科学进取精神的历史。

科学史中的女性

你可能已经注意到了，除了在第22章 [1] 中简要提到了居里夫人，本书中几乎没有提到女性所扮演的角色。这当然不意味着女性在科学史中没有发挥作用。不过，毫无疑问，在我们大部分历史中，社会态度并不鼓励女性在本书所关注的科学领域内扮演重要角色，尤其是在物理学和天文学领域内。然而，重申一下，这并不是说女性在这些科学领域内没有发挥重要作用。简单举一个例子，进入17世纪后，天文学研究开始需要大量严谨的观察和计算（更别提这些观察和计算都很琐碎了），其中很大一部分都是由女性来完成的（比如，第谷·布拉赫的妹妹索菲亚·布拉赫就为第谷的观察提供了重要帮助）。女性在科学史和科学哲学方面所扮演的角色可能是你会感兴趣的另一大领域。如果确实如此，我推荐

从马哈雷特·阿利克的《希帕提娅的遗产：从上古至19世纪科学中的女性历史》（Hypatia’s Heritage：A History of Women in Science from Antiquity through the Nineteenth Century）（Margaret Alic，1986）开始。除此之外，登录网站www.astr.ua.edu/4000WS/4000WS.html，可以找到大量科学中女性的人物传记，人物所处年代从古代横跨至今，因此这也可以作为一个不错的开端。

物理学和天文学中的哲学命题

如果想对本书中探讨过的命题进行更进一步的研究，特别是研究那些与天文学和物理学有关的历史实例和命题，那么库欣的《物理学中的哲学概念：哲学与科学理论间的历史关联》（Philosophical Concepts in Physics：The Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories）（Cushing，1998）是一个不错的起点。库欣（1937—2002）是一位物理学家，然而长期对哲学命题感兴趣。他的著作详细介绍了物理学中的许多发现，并重点说明了这些发现所涉及的哲学命题。科索的《表象与现实：物理学的哲学入门》（Appearance and Reality：An Introduction to the Philosophy of Physics）（Kosso，1998）也对物理学中的哲学命题进行了有趣而易懂的讨论。同样地，兰格的《物理学的哲学入门：定域性、场、能量和质量》（An Introduction to the Philosophy of Physics：Locality，Fields，Energy，and Mass）（Lange，2002a）也是一本浅显的著作，但其更加详尽，探讨了现代物理学语境下出现的某些核心哲学问题。如果想进一步研究与天文学相关的命题，前面提到过的库恩的《哥白尼革命》（Kuhn，1957）将是一个不错的起点。

物理学和天文学以外的领域

尽管目前本书中的历史实例（除了第27章讨论演化论的历史发展时所用的例子）与前面几节所提到的著作中的大多数历史实例基本都来自于物理学和天文学领域，但这些领域并不是科学的全部。当然，科学哲学也并不是只与这两个领域有关。克利的《科学哲学入门》（Introduction to the Philosophy of Science）（Klee，1997）对科学哲学进行了有趣的概括介绍，并把介绍的重点放在了生物学（更具体地说是免疫学）而不是物理学和天文学上。赫尔和鲁斯合著的《生物哲学》（The Philosophy of Biology）（Hull and Ruse，1998）是一部很好的选集，其依据生物哲学中的核心话题组织内容，可以作为对生物哲学领域命题进行研究的良好开端。同样，布罗迪和格兰迪合编的《科学哲学论文选读》（Readings in the Philosophy of Science）（Brody and Grandy，1971）中第四部分集合了生物哲学领域里的入门级阅读材料。如果想了解与演化论联系更紧密的哲学命题，可以从鲁斯的《认真对待达尔文》（Taking Darwin Seriously）（Ruth，1998）开始。

近年来，在一个宽泛的科学史和科学哲学框架下，化学的历史和哲

学逐渐成了一个引人注目的领域。这一领域的主要期刊是《原质：化学哲学国际期刊》（Hyle：International Journal for Philosophy of Chemistry），如果想对这一领域中的话题有所了解，这本期刊可能是最佳起点。你可以在www.hyle.org 中找到这本期刊。

另一个在近几十年间逐渐兴起的领域涉及科学哲学中的女权主义命题。女权主义角度可以应用于科学哲学中的许多领域，包括（但不限于）整体的方法论和认识论命题，以及涉及具体学科的具体命题（比如，在关于女性主义考古学的文献中所找的研究角度）。克利所编写的《科学的探索：科学哲学论文选读》（Scientific Inquiry：Readings in the Philosophy of Science）（Klee，1999）中的第五部分集合了关于科学哲学中女权主义命题的入门级阅读材料。哈丁的《女权主义中的科学问题》（The Science Question in Feminism）（Harding，1986）也是一个不错的起点。在哈丁讨论的命题中，有些完全不存在争议，而另一些则极具争议。因此，对于理解科学和科学哲学中女权主义研究角度所涉及的命题范围之广，这本书将很有帮助。

其他著作

盖尔的《科学理论：科学史、科学逻辑和科学哲学介绍》（Theory of Science：An Introduction to the History，Logic，and Philosophy of Science）（Gale，1979）对科学哲学进行了很好的概括性介绍，书中大量使用了科学史中的实例。另一本不错的入门级著作是洛西的《科学哲学历史导论》（A Historical Introduction to the Philosophy of Science）（Losse，1972），书中同样也大量引用了历史实例。另一本我一直很喜欢的著作是潘恩的《科学与人类前景》（Science and the Human Prospect）（Pine，1989），不过这本书所涉及的话题范围很广，因此很难将其归类，而且很不幸，现在这本书已经绝版，但在 http://home.honolulu.hawaii.edu/~pine/book1-2.html 中仍然可以找到。金格里奇的《天眼：托勒密、哥白尼与开普勒》（The Eye of Heaven：Ptolemy，Copernicus，Kepler）（Gingerich，1993）针对科学史和科学哲学领域内更具体详细的研究提供了范例。林德伯格的《中世纪的科学》（Science in the Middle Ages）（Lindberg，1978）和克拉盖特的《科学史的关键问题》（Critical Problems in the History of Science）（Clagett，1969）都汇集了一系列探讨更具体命题的论文，且通俗易懂。

以上就是我大致推荐的书目，接下来，我将对每一个章节进行具体注释，并推荐阅读书目。

第一部分：基础命题

关于第一部分中包括的基础命题，很多介绍性著作和选集（这样的选集通常都是论文集，由科学哲学家编选，文章按照主题编排，且通常都有来自编撰者的导读）都对其中大部分命题进行了讨论。

介绍性著作包括洛西（Losse，1972）、盖尔（Gale，1979）和克利（Klee，1997），介绍性选集包括布罗迪和格兰迪（Brody and Grandy，1971）、库尔德和卡沃（Curd and Cover，1998）、克利（Klee，1999）和克伦克、霍林格和克莱因（Klemke，Hollinger and Kline，1988）等。

第1章：世界观

值得注意的是，世界观的概念与库恩在《科学革命的结构》中提出的一系列观点都是相关联的。这本书首次出版于1962年，书中的核心概念之一是“范式”，粗略地说，“范式”就是一个（相关科学家）共同的观点集合以及共同使用的解决问题的方法（从某种意义上来说，范式其实是人们共有的世界观的子集）。根据库恩的观点，“范式变化”偶尔会发生，当新的科学范式出现，替代了现有的科学范式，现有的世界观也就被新的世界观替代了。我们在本书第二部分中探讨了17世纪出现的从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变，这就是范式变化的一个范例。值得注意的是，根据库恩的观点，范式变化发生的频率并不高，而且库恩也提出不能过于宽泛地使用“范式”这个术语。然而，尽管库恩有这样的警示，但他的“范式变化”概念仍然成了近些年来最受欢迎、使用频率最高的概念之一。库恩的著作，特别是《科学革命的结构》，已经成了近几十年来在科学史和科学哲学领域内最有影响力的著作之一。如果有兴趣进一步探讨这一领域内的命题，库恩的《科学革命的结构》无疑值得一读。

世界观的概念，特别是拼图的类比，同样与威拉德·冯·奥曼·奎因的观点之网的概念有些相似，这个概念可以在多部著作中找到，比如奎因（Quine，1964）。奎因偏爱的类比是观点之网，其中网络中心部分代表的是核心观点。这里的关键点是，网络中心部分如果出现变化，就需要改变整个网络，对一个人的观点集合来说，情况也是类似的，如果其核心观点发生了变化，那么整个观点集合都需要改变。相比之下，网络外围部分的变化并不需要大规模改变网络中心部分，对应到一个人的观点集合上，也就是外围观点发生改变的时候，并不需要对整个观点集合进行大量更改。在前面注释中提到过的大多数论文集都有选择地收录了奎因的论文，以及对奎因观点的讨论。同时，本书的第5章将对奎因的某些观点进行更为全面的探讨。

正如在本章正文中提到的，亚里士多德本人的观点是复杂的，而且他的著作本身也是很难理解的。最接近于原著的英文译本可能是艾波索（Apostle）的译本，也就是亚里士多德（Aristotle，1966，1969，1991），不过这些也是最难以通读的素材。麦克恩的译本，也就是亚里士多德（Aristotle，1973）更容易理解，这可能是阅读最为广泛的译本了。同时，亚里士多德的许多著作在互联网上都可以找到，比如classics.mit.edu/aristotle。如果想快速对亚里士多德有一个概括性了解，可以参考罗宾森（Robinson，1995）。如果想简要了解从亚里士多德以前到其所处时代的希腊科学，以及亚里士多德以后的希腊科学，可

以参考劳埃德（Lloyd，1970，1973）。

在第20章的章节注释中可以找到对牛顿著作和牛顿世界观的讨论，并且可以作为参考资料。

第2章：真理

总的来说，从事实际研究工作的科学家，特别是物理学家，都不愿意讨论涉及真理的命题。他们通常都认为真理是一个哲学命题，而不是科学命题。有一人例外，他就是史蒂文·温伯格（当代权威物理学家之一）。温伯格毫不掩饰地表示过，“像我本人这样的科学家……认为科学的任务是让我们越来越靠近客观真理”（《纽约时报书评》（New York Times Review of Books），45（15），1998）。温伯格（Weinberg，1992）中有他本人的进一步思考，包括对更广泛物理学命题的思考。这本书同时也对当代物理学前沿进行了相当通俗易懂的概括介绍。

至于对真理理论的哲学探讨，柯卡汉姆（Kirkham，1992）是最近的一本读物，其中对围绕真理理论的命题进行了全面讨论，如果有兴趣深入研究真理理论，这本书将是最全面的素材。至于本章中有关笛卡尔的讨论，笛卡尔《沉思录》相对近期的英文译本是1960年的版本。费尔德曼（Feldman，1986）对《沉思录》进行了有趣的介绍，在本书中，作者利用《沉思录》对一系列哲学问题进行了探讨。

第3章：经验事实和哲学性/概念性事实

本章所讨论的命题与通常所说的“观察渗透理论”紧密相连。粗略地说，这个概念是说，即使看起来直接明确的经验观察通常也都会与多个理论相互交织。举个例子，如果我们用电压表测量书桌旁边插座的电压，我们表面观察到的结果会是刻度盘上指针的移动。要从这个结果推理得到插座现在的电压，比方说，110伏，我们需要接受某些理论，内容涉及电的性质、电流与电压表等测量仪器之间相互作用的原理、电压表工作原理等。库恩（Kuhn，1962）提出了许多更具争议的命题，其中很多都涉及观察与理论之间的相互影响。雷蒙（Laymon，1984）也是一本有趣的著作，研究了在20世纪的一个著名实验（这个实验涉及恒星光线的弯折，我们在第4章里进行了更进一步讨论）里，理论和观察是如何以多种方式交织在一起的。

第4章：证实与不证实证据和推理

如果想进一步讨论与推理相关的命题，特别是与证实推理和不证实推理相关的命题，大部分关于科学哲学的介绍性著作和介绍性论文集都可以满足需求，其中包括布罗迪和格兰迪（Brody and Grandy，1971）、盖尔（Gale，1979）、克伦克、霍林格和克莱因（Klemke，Hollinger and Kline，1988）、克利（Klee，1997）、库尔德和卡沃（Curd and Cover，1998）和克利（Klee，1999）。

同时，我们在前面提到过，雷蒙（Laymon，1984）对1919年日食期间对于恒星光线弯折的观察所涉及的复杂因素进行了有趣的解释。雷蒙的论文中包括详细的分析，说明了观察与理论是如何相互交织的，以及要确定某个理论所预言的结果是否真的被观察到了，究竟是有多么困难。

第5章：奎因-迪昂论点和对科学方法的意义

关于奎因-迪昂论点所涉及的命题，主要阅读材料来自于与这一论点相关的两位哲学家，也就是迪昂（Duhem，1954，最初出版于1906年）和奎因（Quine，1964，1969，1980）。克利（Klee，1997）中对很多相关的命题进行了很好的探讨。与这些命题相关的论文可以在库尔德和卡沃（Curd and Cover，1998）和克利（Klee，1999）中找到。

罗宾森（Robinson，1995）对亚里士多德进行科学研究的方法进行了很好的概述。关于笛卡尔思想和观点，最好的原始资料来自于笛卡尔（Descartes，1960），而笛卡尔（Descartes，1931）则是对笛卡尔研究著作更全面的汇总。我在前面提到过，费尔德曼（Feldman，1986）对笛卡尔的研究方法进行了概括介绍和浅显易懂的讨论。波普尔（Popper，1992）是介绍其科学观点的一本经典读物，而对波普尔观点更进一步的讨论，以及对广义的科学研究方法的讨论，在前面提到的论文集中都可以找到，其中包括克伦克、霍林格和克莱因（Klemke，Hollinger and Kline，1988）、库尔德和卡沃（Curd and Cover，1998）和克利（Klee，1999）。

第6章：哲学插曲：归纳的问题和困惑

关于现在所说的休谟的归纳问题，原始资料是休谟（Hume，1992，最初出版于1739年），特别是第一卷的第三部分（尽管整部著作的主题都是与归纳相关的命题）。关于亨普尔乌鸦悖论的讨论可以在亨普尔最初于1945年发表、并于1965年再次印刷的《对证实逻辑的研究》（Studies in the Logic of Confirmation）中找到。古德曼有关归纳的“新”谜题（也就是涉及判断“绿蓝”的一个问题）的观点可以在古德曼（Goodman，1972，1983）中找到。从海因莱因的小说《纽伯大梦》（Job）中借用的例子可以在海因莱因（Heinlein，1990）中找到。如果希望对涉及归纳的更广泛的命题进行讨论，包括对亨普尔和古德曼的观点进行讨论，可以参考布罗迪和格兰迪（Brody and Grandy，1971）和库尔德和卡沃（Curd and Cover，1998）。

第7章：可证伪性

在本章开篇时我提到了，围绕可证伪性的命题出乎意料的复杂，要进一步探讨这些命题，最好的方法可能就是研究一下这些命题在科学史上的具体实例里是如何发挥作用的。伽利略与教会之间的冲突就是这样

一个例子，我们在第17章将进行了更详细的讨论。对这个例子的讨论可以参考桑提亚娜（Santillana，1955）、比亚乔利（Biagioli，1993）、马查默（Machamer，1998）和索贝尔（Sobel，2000）（还有其他很多，这只是其中几个人）。另一个涉及许多本章中所讨论话题的实例是20世纪80年代起出现的创造科学实验。库尔德和卡沃（Curd and Cover，1998）第一部分中对这个实例的讨论可以是一个很好的起点。关于冷聚变的争议也是一个仍在持续发展的实例，很好地表明了本章中讨论的许多命题（尤其表明了双方是如何指摘对方才是把自己的理论当作是不可证伪的一方）。关于还没有定论的冷聚变问题，帕克（Park，2001）进行了很好的说明。还可以登录网站www.lenr-canr.org 查阅目前剩余的冷聚变理论支持者的观点。最后，现在仍有为数不多的地心说观点支持者，他们的存在也很好地说明了本章中的多个命题。在网站www.geocentricity.com 可以找到他们的观点。

第8章：工具主义和现实主义

在前几章注释中提到的许多选集都对这一章的核心命题进行了进一步讨论，特别是与解释相关的命题。这些选集包括布罗迪和格兰迪（Brody and Grandy，1971）、克伦克、霍林格和克莱因（Klemke，Hollinger and Kline，1988）和库尔德和卡沃（Curd and Cover，1998）。萨尔蒙（Salmon，1998）对这些命题进行了更全面的研究。

目前科学哲学某些领域内的一个命题得到了广泛探讨，而且这个命题与现实主义和工具主义间的区别有关，这个命题就是现实主义与反现实主义之争。现实主义与反现实主义之间的区别和之争与现实主义和工具主义命题是相似的，但并不完全相同。现实主义与反现实主义之争的实际焦点多年来已多次变化，但粗略地说，现实主义坚持认为科学理论（或者至少是已经成熟的理论）给出的描述反映了事物的真实情况，在这些理论中处于核心位置的实体都是真实存在的。反现实主义则持相反观点，也就是即使是最好的理论，尽管它们可能很方便，也很有用，但并没有充分的理由认为这样的理论反映了事物真实的情况，也没有理由认为这些理论所涉及的实体是真实存在的。琼斯（Jones，1991）对这一争论中的很多命题进行了介绍。（这篇文章本意并不是进行介绍，不过我仍然认为它其实是一个易懂而有趣的介绍。）克利（Klee，1997）对很多核心命题进行了入门级讨论。莱普林（Leplin，1984）和弗兰奇、魏何林和维特斯坦（French，Uehling and Wettstein，1988）则是关于现实主义/反现实主义命题的不错的论文选集。

第二部分：从亚里士多德世界观到牛顿世界观的转变

对于第二部分所涉及的命题，梅森（Mason，1962）、科恩（Cohen，1985）和林德伯格（Lindberg，1992）都对科学的发展进行了很好的概述。伯特（Burtt，1954）、库恩（Kuhn，1957）、戴克斯特霍伊斯（Dijksterhuis，1961）、图尔敏和古德菲尔德（Toulmin and

Goodfield，1961，1962）和马修（Matthews，1989）都对科学发展与哲学发展之间的相互影响进行了概述。

第9章：亚里士多德世界观中的宇宙结构

科恩（Cohen，1985）对亚里士多德宇宙观，特别是有关宇宙物理结构的观点进行了介绍，是可读性非常强的概括性介绍。德雷尔（Dreyer，1953）、库恩（Kuhn，1957）、戴克斯特霍伊斯（Dijksterhuis，1961）、图尔敏和古德菲尔德（Toulmin and Goodfield，1961，1962）和林德伯格（Lindberg，1992）都对关于宇宙物理结构的观点和关于宇宙的概念性观点进行了更为详细的讨论。如果有兴趣进一步探讨西方科学史、特别是中世纪时期的某些具体命题，林德伯格（Lindberg，1978）是一个很好的起点。

第10章：托勒密《至大论》序言：地球是球形的、静止的，并且位于宇宙中心

托勒密（Ptolemy，1998）是《至大论》的一个近期英文译本。在穆尼茨（Munitz，1957）中可以找到《至大论》序言，本章中所引用的部分就摘自这本书。这本书中同样包含了亚里士多德在《论天》中对“地球是球体、静止的，并且位于宇宙中心”的观点的论证。总的来说，这本书涵盖了从巴比伦早期到20世纪有关宇宙观点的文献，是一本很好的文摘集。

第11章：天文学数据：经验事实；

第12章：天文学数据：哲学性/概念性事实

如果想对第11章和第12章中讨论过的内容进行进一步讨论，德雷尔（Dreyer，1953）和库恩（Kuhn，1957）是很好的起点。科恩（Cohen，1985）和潘恩（Pine，1989）对这些话题进行了更概括的讨论。

第13章：托勒密体系；第14章：哥白尼体系；

第15章：第谷体系；第16章：开普勒体系

关于第13章到第16章所讨论的内容，很多原始资料现在都已经有了新的英文译本。托勒密（Ptolemy，1998）是托勒密《至大论》的一个近期译本，其中还有译者的评论。同样的，哥白尼（Ptolemy，1998）是哥白尼主要著作《天体运行论》（On the Revolution of Heavenly Spheres）的新英文译本，其中也包括译者评论。开普勒（Kepler，1995）是开普勒某些主要著作的新英文译本。

德雷尔（Dreyer，1953）和库恩（Kuhn，1957）对这些体系进行了概括介绍，是最好的二手资料。金格里奇（Gingerich，1993）是这一领域中一位主要学者的论文集，其中所收录的论文，内容更加详细和有针对性，很好地展示了在科学史领域已经开展了哪些更为详细的研究。

正如在第15章结尾提到的，那些至今仍然相信地心说的人（基本都出于宗教原因）都偏爱第谷体系。关于当代第谷体系支持者的更多信息，可以登录网站www.geocentricity.com 。地心说支持者的文章从很有趣的角度说明了我们在第一部分中讨论过的许多命题，特别是有关相互竞争的世界观、可证伪性、证据以及证实与不证实推理的命题。

第17章：伽利略和通过望远镜得到的证据

伽利略本人的著作都很浅显易懂。伽利略主要著作的英文译本可以参考伽利略（Galileo，1957，2001），其中收录了伽利略关于望远镜和对地心说与日心说之争的观点的著作。范托利（Fantoli，1996）是一本关于伽利略的更为详细、且常常被引用的著作，尤其是书中对与教会相关命题的讨论，如果想进一步了解伽利略，这本书高度推荐。桑提亚娜（Santillana，1955）更概括地介绍了伽利略的研究，其重点也是伽利略与教会冲突相关的命题。马查默（Machamer，1998）所收录的论文都更为专注于探讨伽利略在某个具体方向上的研究，更好地展示了伽利略具体的研究成果。比亚乔利（Biagioli，1993）和索贝尔（Sobel，2000）从某个意义上是从某个有些不同但又易于接受的角度对伽利略的生平和研究工作进行了探讨。比亚乔利（Biagioli，1993）关注的重点是宫廷政治在伽利略研究工作中所扮演的角色（我们在本章正文中也提到过，伽利略是美第奇宫廷的成员），而索贝尔（Sobel，2000）的重点则是通过研究现存的伽利略女儿写给伽利略的书信来探讨伽利略与他女儿的关系，从而从一个不同的角度来看待伽利略和他女儿的生平及研究工作。

第18章：亚里士多德世界观所面临问题的总结

库恩（Kuhn，1957）和科恩（Cohen，1985）都对亚里士多德世界观在17世纪早期所面临的问题进行了概括性介绍。戴克斯特霍伊斯（Dijksterhuis，1961）和梅森（Mason，1962）则对17世纪的发展进行了更为详细的介绍。

第19章：新科学发展过程中的哲学性/概念性关联

库恩（Kuhn，1957）对本章所讨论的多个话题进行了进一步探讨。梅森（Mason，1962）尽管重点关注科学史，但仍对本章所讨论的某些宽泛的命题进行了详细探讨。戴克斯特霍伊斯（Dijksterhuis，1961）和图尔敏和古德菲尔德（Toulmin and Goodfield，1961）同样

对本章所讨论的多个话题进行了更加详细的描述，为进一步研究这些话题提供了不错的素材。

第20章：新科学和牛顿世界观概述

高度推荐牛顿的《原理》，这本书的新英文译本出版于1999年，其中包含译者编写的大量评述。科恩（Cohen，1985）对这些发展进行了概述，而戴克斯特霍伊斯（Dijksterhuis，1961）和梅森（Mason，1962）则进行了更为详尽的讨论。同时，我想感谢查尔斯·艾斯（Charles Ess），因为他建议我在本章正文中加入了关于用工具主义态度和现实主义态度对待牛顿重力概念的讨论。

第21章：哲学插曲：什么是科学定律

在探讨与定律相关的命题方面，亨普尔和奥本海姆（Hempel and Oppenheim，1948)）是一本早期而又经典的读物。阿姆斯特朗（Armstrong，1983）和卡罗尔（Carroll，1994）对这些命题进行了全面讨论，而兰格（Lange，2000）则对标准观点进行了很好的概括总结，并给出了另一种可行的解释。卡特赖特（Cartwright，1983）和吉列（Gierre，1999）从一个有趣而且多少有些不同的角度对某些对待定律的普遍态度进行了讨论。对涉及反事实条件问题的早期讨论，奎因（Quine，1964）、古德曼（Goodman，1983）和刘易斯（Lewis，1973）都是很好的阅读素材。如果想进一步了解其他条件不变句，可以参考兰格（Lange，2002b）和厄尔曼、格莱莫尔和米切尔（Earman，Glymour and Mitchell，2003）

第22章：1700～1900年牛顿世界观的发展

梅森（Mason，1962）对本章介绍的这段时期内的科学发展进行了很好的介绍，克劳（Kragh，1999）是有关19世纪末物理学状况的很好的素材。库欣（Cushing，1998）同样对本章所讨论的很多命题进行了很好的研究，其中重点更多放在科学问题与哲学命题之间的互动上。埃弗里特（Everitt，1975）对麦克斯韦的贡献进行了详细介绍。

第三部分：科学及世界观的新近发展

在讨论第三部分内容的资料中，克劳（Kragh，1999）相对较新，是对二十世纪物理学发展史相当详细的介绍，内容涵盖了从19世纪晚期到20世纪末物理学的发展。梅森（Mason，1962）同样介绍了科学的发展，包括生物学和物理学，不过更为简略。库欣（Cushing，1998）中的许多案例研究都很好地展现了哲学与物理学在近些年里的互动。

第23章：狭义相对论

爱因斯坦（Einstein，1905）是狭义相对论的原始版本，爱因斯坦（Einstein，1920）对狭义相对论进行了更易于理解的解释。莫明（Mermin，1968）对狭义相对论进行了完整而准确的介绍，而且在整个过程中，除了基本代数，没有设定其他任何先决条件。这本书的新近版本出版于2005年，同样也是这一领域中一本不错的读物。德阿布罗（D'A bro，1950）也对狭义相对论进行了很好的介绍，科索（Kosso，1998）则对狭义相对论进行了概述，并重点强调了这一理论的某些哲学影响。

值得注意的是，“绝对空间”和“绝对时间”通常的用法与我在本章中的用法不同。自牛顿和莱布尼茨时代起到现在，关于空间是否是一个实体、且独立于空间中的物体而存在，一直存在争议。也就是说，应该认为空间是一种不依赖物体而存在的物质，还是应该认为空间仅由物体之间的关系所组成、除此之外别无他物？前一种观点通常被称为实体论主义的空间观，而后者则被称为关系论主义的空间观。让我们用一个常见的类比来解释，实体论主义的观点认为空间就像一个容器，物体存在于容器中。重点是，根据这个观点，容器，也就是空间，独立于空间中的物体存在，其属性也独立于空间中的物体。关系论主义的空间观摒弃了这种把空间当成“容器”的观点，而是认为组成空间的只有物体之间的关系。“绝对空间”这个术语有时被用来指代实体论主义的空间观，同样的，这与我在本章中对这个术语的使用多少有些区别。时间的概念也面临类似问题，也就是时间是独立于物体和事件而存在的，还是时间只是由物体间和事件间的相互关系所组成？

最后，在本章正文中，我提到了洛伦兹变换，但并没有解释这个变换具体是什么。如果你感兴趣，那就让我们假设用x、y、z和t来代表一个静态坐标系中的空间和时间维度。用x′、y′、z′和t′来代表在x方向上以速度v进行运动的一个坐标系（也就是说这个坐标系相对于第一个坐标系运动，而且通常都是沿直线匀速运动）中的空间和时间维度。γ定义如下：

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

那么洛伦兹变换则为：

$$t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right)$$

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

这就是在讨论乔伊的时空坐标系和萨拉的时空坐标系时使用的洛伦兹变换，通过这个变换，一个坐标系中的坐标就被转化成了另一个坐标系中坐标。

第24章：广义相对论

爱因斯坦（Einstein，1905）是广义相对论的原始版本，而爱因斯坦（Einstein，1920）则对广义相对论进行了更易于理解的解释。德阿布罗（D'Abro，1950）同样也是关于广义相对论的一本不错的读物。

在本章正文中提到过，像图24-2这样的示意图是典型的四维时空的二维“切片”。有一点虽然在本章的讨论中可能并不关键，但你可能也注意到了，那就是在这个图中，这个二维切片是“镶嵌”在一个三维空间中的，因此这样的示意图通常被称为“嵌入图”。同时，我想对一位未署名的评论人士表示感谢，他在本章前一版草稿中指出了我在描述测地线时所犯的一个明显错误。

第25章：量子理论的经验事实、数学方法和诠释的概述

强调对量子事实、量子理论本身和量子理论诠释进行区分，很大程度上来自于赫伯特（Herbert，1985）。我认为，在阅读关于量子理论的大量文献时，把三者之间的区别记在脑中是很有帮助的。

本章中描述的量子事实都是相当标准的范例，广泛用于说明与量子事实有关的某些奇怪特性。潘恩（Pine，1989）讨论了类似的实验。

在赫伯特（Herbert，1985）中可以找到对量子理论数学的一个概括的描述性介绍，与本章中的介绍相似。如果想详细地了解量子理论数学，根据每个人数学程度的不同，会偏爱不同的著作。我个人最推荐休斯（Hughes，1989）和伯格特（Baggott，1992，2004）。

关于量子理论诠释，已有大量著作，但良莠不齐。这里，我将推荐几本我认为质量更好的著作。赫伯特（Herbert，1985）出自一位物理学家之手，但却是面向大众读者的。尽管作者有自己所偏爱的诠释方法，但仍对不同的选择进行了公平介绍。伯格特（Baggott，1992）同样对量子理论和量子理论诠释涉及的命题进行了很好的讨论。顺带提一下，这本书的副标题为《给化学系和物理学系学生的指南》（A Guide for Students of Chemistry and Physics）。我会忽略这个副标题，因为不管你是不是化学系和物理系的学生，这本书都是对量子理论和量子理论诠释的一个很好的指南。2004年再版时，这本书的内容得到了大量修改和扩展，也值得推荐。兰格（Lange，2002a）中的最后一章同样对这些命题进行了很好的探讨。最后，我想对马克·兰格（Marc Lange）表示感谢，因为他指出了我在本章前一版中在讨论玻姆的诠释时所犯的一个错误。

最后，在本章正文中我提到过，我会在章节注释中给出一个关于量子理论数学更为详细的总述。总结一下：①一个量子系统的（纯粹）状态是由希尔伯特空间中的一个矢量所表达的；②对一个量子系统可能进行的每一种测量都与希尔伯特空间中的一个特定运算符相关联；③对量子系统进行某种测量，找到运算符（也就是与测量相关联的运算符）的本征值就可以预言测量结果。

为了理解①，请思考一下在数学课上学习过的二维笛卡尔坐标系，假设以点（0，0）为起点，以坐标系中任意一点为终点，比如点（11，7），在两点之间画一条直线。这样的一条线就是一个矢量。多个这样的矢量所构成的集合，就是实数二维空间中的矢量空间。矢量空间可涉及三维、四维或任何数量（可以是无限多）的维度，同样也可以涉及实数以外的数字，在量子理论数学中，某些特别重要的矢量空间涉及非常复杂的数字（也就是a＋bi形式的数字，其中a、b是实数，i是虚数，等于-1的平方根）。

让我们用一个类比来大致理解一下希尔伯特空间。思考一组实数二维空间中的矢量空间。请注意，其中某些矢量空间需要满足一定的前提，比如有些矢量空间仅由通过两个双数定义的矢量构成，有些矢量空间仅由通过两个正数定义的矢量构成，还有一些矢量空间中，所有矢量可能都可以进行某些数学运算。希尔伯特空间就是一个矢量空间，它满足了某些已被充分定义和理解的前提条件，而且可以进行某些特定的数学运算。这些前提条件具体是什么已经超出了这里讨论的范围，但目前的讨论已足以让我们至少大致了解了希尔伯特空间。

希尔伯特空间中的运算符是在矢量上运算的一个函数，可以把一个

矢量转换成另一个矢量。要理解本征值的概念，让我们再思考一组实数二维空间之上的全部矢量。假设有一个特定运算符O和一个特定矢量v，Ov计算得出一个新矢量，其长度是v的两倍，我们将其命名为2v。请注意，O可能并不是一个简单的成倍计算的运算符，也就是说，它可能并不会使所有矢量长度都倍增。但是，可能对某些矢量，比如v，通过O的运算结果是一个长度为原来两倍的新矢量。也就是说，对这个特定的矢量，Ov＝2v。在这个运算结果里，v被称为O的一个本征矢量，2就是相应的本征值。以此类推，如果Ov＝3v，那么v就是O的一个本征矢量，而3是相应的本征值。同样地，某些运算符没有本征矢量，因此也就没有相应的本征值。希尔伯特空间是更为复杂的矢量空间，这类空间的本征矢量和本征值概念更加难以描述。但是，前面所举的这个例子，也就是利用了在二维笛卡尔坐标系空间之上的简单矢量空间的例子，应该可以作为一个类比，让你对本征矢量和本征值等概念形成一定认识。

回忆一下，一个运算符是把一个矢量转换成另一个矢量的函数，而且，根据前面提到的②，我们知道了对一个量子系统可能进行的测量，是与希尔伯特空间之上的特定运算符紧密相连的。至于前面提到的③：大多数情况下（尽管并不是所有情况下），与测量相连的运算符都会有本征矢量和相应的本征值。本征值所代表的是与这个运算符相连的测量可能出现的结果。具体来说，从本征值和代表了系统状态的矢量出发，运用一个被称为投影运算符的特殊运算符，就可以计算出一个在0到1之间的概率。这个概率所代表的是，观察到与这个本征值相连的特定测量结果的概率。

第26章：量子理论与定域性：EPR、贝尔定理和阿斯派克特实验

赫伯特（Herbert，1985）对本章中的话题进行了很好的概括讨论，在前面我也提到过，我对贝尔定理的解释很大程度上借鉴了赫伯特的介绍模式。

伯格特（Baggott，1992，2004）对这些命题进行了更为详细的解释。对于有关定域性的命题，毛德林（Maudlin，1994）对其中涉及的复杂命题进行了全面而严谨的分析。如果有兴趣进一步研究定域性与非定域性的话题，这本书高度推荐。

最后，贝尔的著作也值得一读，他关于这一主题的核心论文都收录在贝尔（Bell，1988）。

第27章：演化论概述

戴斯蒙与摩尔（Desmond and Moore，1991）是关于达尔文生平和著作相对较新的一本读物，内容全面，高度推荐。夸曼（Quammen，2006）篇幅更短，但信息量仍然很大，也很浅显易懂，因此同样推荐。相对于达尔文核心著作《物种起源》的初版，达尔文（Darwin，1964）是一个不错的翻版。

梅尔（Mayr，1982）对近几个世纪里生物学的发展进行了广泛而详细的介绍，其中包括演化理论的发展。普罗文（Provine，1971）同样也是一本不错的素材。如果想要更短的概述，可以参考梅森（Mason，1962）和希尔瓦（Silver，1998），这两本书都对关键发展进行了简要概述。威尔逊（Wilson，1969）和格林尼（Greene，1969）进行了更详细的讨论，而且是以达尔文和华莱士核心著作所处时代的生物学发展为大背景的。

费舍尔（Fisher，1999）是在介绍群体遗传学发展方面的一本核心著作，威廉姆斯（Williams，1966）和哈特尔（Hartl，1981）对这一领域进行了全面介绍。梅尔（Mayr，1982）中的相关章节也为这一话题提供了更多有益信息。

沃森和克里克（Watson and Crick，1953）宣布发现了DNA结构，是一篇经典论文，值得一读。奥尔贝（Olby，1974）对这个发现进行了全面介绍。在这一时期，人们开始探讨大量与科学研究有关的更宽泛的问题，特别是为什么社会不愿意承认女性科学工作者的重要贡献。如果想继续对此进行探究，赛尔（Sayre，1975）和福克斯·凯勒（Keller，1983）可以是不错的起点。

在本章正文中我提到过，近期的发现使很多研究领域都成为可能，尤其是对限制酶和随之而来的DNA操控工具的发现。对于这些新兴领域，无论怎么强调都不为过。伯格曼和西格尔（Bergman and Siegal，2003）、阿布札诺夫等（Abzhanov et al.，2006）和麦克伦伯格（Mecklenburg，2010）都是很好的范例。

最后，我想感谢吉姆·隆（Jim Long），我在本章中提到了达尔文笔记本，在把其中拉丁语部分翻译成英文的过程中，吉姆·隆与我进行了大量有益的讨论，并提供了很多协助。

第28章：演化的哲学与概念影响

在本章正文中我们所讨论的一派观点是，演化和整个现代科学并没有给传统上帝概念或类似的概念留有余地，关于这个观点，值得参考的文献包括丹尼特（Dennett，1995，2006）和道金斯（Dawkins，2006）。道金斯（Dawkins，1976）和温伯格（Weinberg，1992）虽然没有那么直接相关，但仍为后续文献打下了基础。在哈里斯（Harris，2004，2007）和希金斯（Hitchens，2007）中，两位优秀学者从多少有些不同的角度进行了论证，不过在本章正文中并没有提到。想了解霍特的观点，可以参考霍特（Haught，2008a，2008b，2001）。关于过程哲学更早期的文献，可以参考怀海德（Whitehead，1978）。至于其他试图在宗教和演化之间进行协调的研究，则可以参考穆尼（Mooney，1996）和米勒（Miller，1999）。米勒（Miller，2008）从某种程度上说是对本章所讨论内容的延伸，是对演化和宗教的一个有趣的研究。

关于重复的囚徒困境，最好的早期著作是阿克塞尔罗德（Axelrod，1980a，1980b，1984）。关于最后通牒博弈、信任博弈和其他类似命题的研究可以参考金迪斯等（Gintis et al.，2002）、波奈特和济科豪瑟（Bohnet and Zeckhauser，2004）和科斯菲尔德等（Kosfeld et al.，2005）。索伯和威尔逊（Sober and Wilson，1998）对涉及利他主义行为和无私行为的命题进行了详细而全面的研究。

关于自然主义谬误，虽然本章正文中所讨论的版本可以参考休谟（Hume，1992），首次出版于1739年，但关于这个命题的经典文献是摩尔（Moore，1962），首次出版于1903年。对于通常所说的“自然主义谬误”，本书以外另一个版本，也就是摩尔所感兴趣的版本，是认为任何试图给规范伦理学陈述提供一个自然主义基础的尝试都是被误导的结果。摩尔支持这个观点，并进行了现在通常被称为“开放问题”的论证：如果某些被认为在道德上是好的事物被判定为具有某种自然属性，那么针对具有这种自然属性的事物，对其是否是好的进行判断，仍然是有意义的。换句话说，由于某个事物是否具有某个特定属性仍然是个问题，那么这个事物是否是好的就是一个开放问题，而如果这仍是一个开放问题，那么具有那种特定自然属性就不会必然决定某个事物是好的。

如果想进一步了解在本章正文这一部分中所概述的霍特的观点，霍特（Haught，2008a）同样是最好的素材。关于鲁斯和威尔逊的观点，最好的资料是鲁斯（Ruse，1998）和威尔逊（Wilson，1978）。鲁斯（Ruse，2009）是一本极佳的论文集，收录了有关这些观点和相关命题的论文。

第29章：世界观：总结思考

如果你对隐喻和比喻在科学中的作用感兴趣，海西（Hesse，1966）可以是一个很好的起点。除此之外，这一章对我们讨论过的话题进行了总结，并对未来将会怎样进行了思考，因此并没有太多需要注释的内容，也没有很多推荐阅读的书目。我认为，最好的做法就是这一章结尾时提出的：对不起了，蒂莫西·利瑞，让我们关掉电视，开始学习科学史吧！

[1] 原书为“第21章”，疑有误。——译者注

参考文献

Abzhanov, A., Kuo, W., Hartmann, C., Grant, B., Grant, P., and Tabin, C. (2006) "The Calmodulin Pathway and Evolution of Elongated Beak Morphology in Darwin's Finches," *Nature* 442, 563–567.

Alic, M. (1986) *Hypatia's Heritage: A History of Women in Science from Antiquity through the Nineteenth Century*, Beacon Press, Boston.

Aristotle (1966) *Aristotle's Metaphysics*, translated by H. Apostle, Indiana University Press, Bloomington.

Aristotle (1969) *Aristotle's Physics*, translated by H. Apostle, Indiana University Press, Bloomington.

Aristotle (1973) *Introduction to Aristotle*, second edition, translated by R. McKeon, University of Chicago Press, Chicago.

Aristotle (1991) *Aristotle: Selected Works*, third edition, translated by H. Apostle and L. Gerson, Peripatetic Press, Grinnell, IA.

Armstrong, D. (1983) *What is a Law of Nature?* Cambridge University Press, Cambridge.

Axelrod, R. (1980a) "Effective Choice in the Prisoner's Dilemma," *Journal of Conflict Resolution* 24(1), 3–25.

Axelrod, R. (1980b) "More Effective Choice in the Prisoner's Dilemma," *Journal of Conflict Resolution* 24(3), 379–403.

Axelrod, R. (1984) *The Evolution of Cooperation*, Basic Books, New York.

Baggott, J. (1992) *The Meaning of Quantum Theory*, Oxford University Press, Oxford.

Baggott, J. (2004) *Beyond Measure: Modern Physics, Philosophy and the Meaning of Quantum Theory*, Oxford University Press, Oxford.

Bell, J. S. (1964) "On the Einstein Podolsky Rosen Paradox," *Physics* 1, 195–200.

Bell, J. (1988) *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics: Collected Papers on Quantum Philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge.

Bergman, A., and Siegal, M. L. (2003) "Evolutionary Capacitance as a General Feature of Complex Gene Networks," *Nature* 424, 549–552.

Biagioli, M. (1993) *Galileo, Courtier*, University of Chicago Press, Chicago.

Bohnet, I., and Zeckhauser, R. (2004) "Trust, Risk and Betrayal," *Journal of Economic Behavior and Organization* 55, 467–484.

Brody, B., and Grandy, R. (eds.) (1971) *Readings in the Philosophy of Science*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Burtt, E. (1954) *The Metaphysical Foundations of Modern Science*, Doubleday, New York.

Carroll, J. (1994) *Laws of Nature*, Cambridge University Press, Cambridge.
Cartwright, N. (1983) *How the Laws of Physics Lie*, Oxford University Press, Oxford.
Clagett, M. (ed.) (1969) *Critical Problems in the History of Science*, University of Wisconsin Press, Madison.
Cohen, I. (1985) *The Birth of a New Physics*, W. W. Norton, New York.
Copernicus, N. (1995) *On the Revolution of Heavenly Spheres*, translated by C. Wallis, Prometheus Books, Buffalo, NY.
Curd, M., and Cover, J. (eds.) (1998) *Philosophy of Science: The Central Issues*, W. W. Norton, New York.
Cushing, J. (1998) *Philosophical Concepts in Physics: The Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories*, Cambridge University Press, Cambridge.
D'Abro, A. (1950) *The Evolution of Scientific Thought*, Dover Publications, New York.
Darwin, C. (1964) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
Dawkins, R. (1976) *The Selfish Gene*, Oxford University Press, New York.
Dawkins, R. (2006) *The God Delusion*, Houghton Mifflin, Boston.
Dennett, D. (1995) *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*, Simon and Schuster, New York.
Dennett, D. (2006) *Breaking the Spell: Religion as a Natural Phenomenon*, Penguin Books, New York.
Descartes, R. (1931) *The Philosophical Works of Descartes*, volume 1, translated by E. Haldane and G. Ross, Cambridge University Press, Cambridge.
Descartes, R. (1960) *Meditations on First Philosophy*, translated by L. LaFleur, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
Deschanel, P. (1885) *Elementary Treatise on Natural Philosophy*, eighth edition, translated by J. Everett, Blackie and Son, London.
Desmond, A., and Moore, J. (1991) *Darwin: The Life of a Tormented Evolutionist*, W. W. Norton, New York.
Dijksterhuis, E. (1961) *The Mechanization of the World Picture*, translated by C. Dikshoorn, Oxford University Press, London.
Dobzhansky, T. (1973) "Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution," *American Biology Teacher* 35, 125–129.
Dreyer, J. (1953) *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, Dover Publications, New York.
Duhem, P. (1954) *The Aim and Structure of Physical Theory [1906]*, translated by P. Wiener, Princeton University Press, Princeton, NJ.
Earman, J., Glymour, C., and Mitchell, S. (eds.) (2003) *Ceteris Paribus Laws*, Springer Verlag, Berlin.
Einstein, A. (1905) "On the Electrodynamics of Moving Bodies," *Annalen der Physik* 17.
Einstein, A. (1916) "The Foundations of the General Theory of Relativity," *Annalen der Physik* 49.
Einstein, A. (1920) *Relativity: The Special and General Theory*, Henry Holt, New York.
Einstein, A., Podolsky, B., and Rosen, N. (1935) "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?" *Physical Review* 47, 777–780.
Everitt, C. (1975) *James Clerk Maxwell: Physicist and Natural Philosopher*, Charles Scribner's Sons, New York.
Fantoli, A. (1996) *Galileo: For Copernicanism and for the Church*, translated by G. Coyne,

University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN.
Feldman, F. (1986) *A Cartesian Introduction to Philosophy*, McGraw-Hill, New York.
Fisher, R. A. (1999) *The Genetical Theory of Natural Selection*, Oxford University Press, Oxford.
Fox Keller, E. (1983) *A Feeling for the Organism: The Life and Work of Barbara McClintock*, Freeman Publishers, San Francisco.
French, P., Uehling, T., and Wettstein, H. (eds.) (1988) *Realism and Antirealism*. Midwest Studies in Philosophy 12. University of Minnesota Press, Minneapolis.
Gale, G. (1979) *Theory of Science: An Introduction to the History, Logic, and Philosophy of Science*, McGraw-Hill, New York.
Galileo (1957) *Discoveries and Opinions of Galileo, including The Starry Messenger*, translated by S. Drake, Anchor Books, New York.
Galileo (2001) *Dialogue concerning the Two Chief World Systems*, translated by S. Drake, Modern Library, New York.
Gierre, R. (1999) *Science without Laws*, University of Chicago Press, Chicago.
Gingerich, O. (1993) *The Eye of Heaven: Ptolemy, Copernicus, Kepler*, Springer Verlag, Heidelberg.
Gintis, H., Bowles, S., Boyd, R., and Fehr, E. (2004) "Explaining Altruistic Behavior in Humans," *Evolution and Human Behavior* 24, 153–172.
Goodman, N. (1972) *Problems and Projects*, Bobbs-Merrill, Indianapolis.
Goodman, N. (1983) *Fact, Fiction, and Forecast*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
Greene, J. (1969) "Biology and Social Theory in the Nineteenth Century: Auguste Comte and Herbert Spencer," in M. Clagett (ed.), *Critical Problems in the History of Science*, University of Wisconsin Press, Madison.
Harding, S. (1986) *The Science Question in Feminism*, Cornell University Press, Ithaca, NY.
Harris, S. (2004) *The End of Faith: Religion, Terror, and the Future of Reason*, W. W. Norton, New York.
Harris, S. (2007) *Letter to a Christian Nation*, Knopf Publishers, New York.
Hartl, D. (1981) *A Primer of Population Genetics*, Sinauer Associates, Sunderland, MA.
Haught, J. (2001) *Responses to 101 Questions on God and Evolution*, Paulist Press, New York.
Haught, J. (2008a) *God After Darwin: A Theology of Evolution*, Westview Press, Boulder, CO.
Haught, J. (2008b) *God and the New Atheism: A Critical Response to Dawkins, Harris, and Hitchens*, Westminster John Knox Press, Louisville, KY.
Heinlein, R. (1990) *Job: A Comedy of Justice*, Ballantine Books, New York.
Hempel, C., and Oppenheim, P. (1948) "Studies in the Logic of Explanation," *Philosophy of Science* 15, 135–175.
Hempel, G. (1965) *Aspects of Scientific Explanation*, Macmillan Publishing, New York.
Herbert, N. (1985) *Quantum Reality: Beyond the New Physics*, Doubleday, New York.
Hesse, M. (1966) *Models and Analogies in Science*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN.
Hitchens, C. (2007) *God is Not Great: How Religion Poisons Everything*, Hachette, New York.
Hughes, R. (1989) *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
Hull, D., and Ruse, M. (eds.) (1998) *The Philosophy of Biology*, Oxford University Press, Oxford.
Hume, D. (1992) *Treatise of Human Nature* [1739], Prometheus Books, Buffalo, NY.
Hume, D. (1998) *Dialogues Concerning Natural Religion* [1779], Hackett Publishing, Indianapolis.

Jones, R. (1991) "Realism about What?" *Philosophy of Science* 58, 185–202.

Kepler, J. (1995) *Epitome of Copernican Astronomy and Harmonies of the World*, translated by C. Wallis, Prometheus Books, Buffalo, NY.

Kirkham, R. (1992) *Theories of Truth*, MIT Press, Cambridge, MA.

Klee, R. (1997) *Introduction to the Philosophy of Science*, Oxford University Press, Oxford.

Klee, R. (1999) *Scientific Inquiry: Readings in the Philosophy of Science*, Oxford University Press, Oxford.

Klemke, E., Hollinger, R., and Kline, A. (eds.) (1988) *Introductory Readings in the Philosophy of Science*, Prometheus Books, Buffalo, NY.

Kosfeld, M., Heinrichs, M., Zak, P., Fischbacher, U., and Fehr, E. (2005) "Oxytocin Increases Trust in Humans," *Nature* 435, 673–676.

Kosso, P. (1998) *Appearance and Reality: An Introduction to the Philosophy of Physics*, Oxford University Press, New York.

Kragh, H. (1999) *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

Kuhn, T. (1957) *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

Kuhn, T. (1962) *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago.

Lange, M. (2000) *Natural Laws in Scientific Practice*, Oxford University Press, New York.

Lange, M. (2002a) *An Introduction to the Philosophy of Physics: Locality, Fields, Energy, and Mass*, Blackwell Publishers, Oxford.

Lange, M. (2002b) "Who's Afraid of Ceteris-Paribus Laws? Or: How I Learned to Stop Worrying and Love Them," *Erkenntnis* 57, 407–423.

Laymon, R. (1984) "The Path from Data to Theory," in J. Leplin, *Scientific Realism*, University of California Press, Berkeley, pp. 108–123.

Leplin, J. (ed.) (1984) *Scientific Realism*, University of California Press, Berkeley.

Lewis, D. (1973) *Counterfactuals*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

Lindberg, D. (ed.) (1978) *Science in the Middle Ages*, University of Chicago Press, Chicago.

Lindberg, D. (1992) *The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, 600* BC *to* AD *1450*, University of Chicago Press, Chicago.

Lloyd, G. (1970) *Early Greek Science: Thales to Aristotle*, W. W. Norton, New York.

Lloyd, G. (1973) *Greek Science After Aristotle*, W. W. Norton, New York.

Losse, J. (1972) *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*, Oxford University Press, Oxford.

Machamer, P. (ed.) (1998) *The Cambridge Companion to Galileo*, Cambridge University Press, Cambridge.

Mason, S. (1962) *A History of the Sciences*, Macmillan Publishing, New York.

Matthews, M. (ed.) (1989) *The Scientific Background to Modern Philosophy*, Hackett Publishing, Indianapolis.

Maudlin, T. (1994) *Quantum Non-Locality and Relativity*, Blackwell Publishers, Oxford.

Mayr, E. (1982) *The Growth of Biological Thought*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

Mecklenburg, K. (2010) "Retinophilin is a Light-Regulated Phosphoprotein Required to Suppress Photoreceptor Dark Noise in *Drosophila*," *Journal of Neuroscience* 30(4), 1238–1249.

Mermin, D. (1968) *Space and Time in Special Relativity*, McGraw-Hill, New York.

Mermin, D. (2005) *It's About Time: Understanding Einstein's Relativity*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
Miller, K. (1999) *Finding Darwin's God: A Scientist's Search for Common Ground between God and Evolution*, Harper Press, New York.
Miller, K. (2008) *Only a Theory: Evolution and the Battle for America's Soul*, Viking Press, New York.
Mooney, C. (1996) *Theology and Scientific Knowledge*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN.
Moore, G. E. (1962) *Principia Ethica*, Cambridge University Press, Cambridge.
Munitz, M. (ed.) (1957) *Theories of the Universe: From Babylonian Myth to Modern Science*, Free Press, New York.
Newton, I. (1999) *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, translated by B. I. Cohen and A. Whitman, University of California Press, Berkeley.
Olby, R. (1974) *The Path to the Double Helix*, University of Washington Press, Seattle.
Park, R. (2001) *Voodoo Science: The Road from Foolishness to Fraud*, Oxford University Press, Oxford.
Pine, R. (1989) *Science and the Human Prospect*, Wadsworth Publishing, Belmont, CA. At http://home.honolulu.hawaii.edu/~pine/book1-2.html (accessed Apr. 26, 2010).
Popper, K. (1992) *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*, Routledge, London.
Provine, W. (1971) *Origins of Theoretical Population Genetics*, University of Chicago Press, Chicago.
Ptolemy, C. (1998) *Ptolemy's Almagest*, translated by G. Toomer, Princeton University Press, Princeton, NJ.
Pyenson, L., and Sheets-Pyenson, S. (1999) *Servants of Nature: A History of Scientific Institutions, Enterprises, and Sensibilities*, W. W. Norton, New York.
Quammen, D. (2006) *The Reluctant Mr. Darwin: An Intimate Portrait of Charles Darwin and the Making of His Theory of Evolution*, W. W. Norton, New York.
Quine, W. (1964) *Word and Object*, MIT Press, Cambridge, MA.
Quine, W. (1969) *Ontological Relativity and Other Essays*, Columbia University Press, New York.
Quine, W. (1980) *From a Logical Point of View*, second edition, Harvard University Press, Cambridge, MA.
Robinson, T. (1995) *Aristotle in Outline*, Hackett Publishing, Indianapolis.
Ruse, M. (1998) *Taking Darwin Seriously*, Prometheus Books, Amherst, NY.
Ruse, M. (ed.) (2009) *Philosophy After Darwin*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
Salmon, W. (1998) *Causality and Explanation*, Oxford University Press, New York.
Santillana, G. (1955) *The Crime of Galileo*, University of Chicago Press, Chicago.
Sayre, A. (1975) *Rosalind Franklin and DNA*, W. W. Norton, New York.
Silver, B. (1998) *The Ascent of Science*, Oxford University Press, New York.
Sobel, D. (2000) *Galileo's Daughter*, Penguin Books, New York.
Sober, E., and Wilson, D. S. (1998) *Unto Others: The Evolution and Psychology of Unselfish Behavior*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
Toulmin, S., and Goodfield, J. (1961) *The Fabric of the Heavens: The Development of Astronomy and Dynamics*, Harper and Row, New York.
Toulmin, S., and Goodfield, J. (1962) *The Architecture of Matter*, Harper and Row, New York.

Watson, J. D., and Crick, F. H. (1953). "Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid," *Nature* 171, 737–738.

Weinberg, S. (1992) *Dreams of a Final Theory*, Pantheon Books, New York.

Whitehead, A. N. (1978) *Process and Reality*, Free Press, New York.

Williams, G. (1966) *Adaptation and Natural Selection*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

Wilson, E. O. (1978) *On Human Nature*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

Wilson, J. W. (1969) "Biology Attains Maturity in the Nineteenth Century," in M. Clagett (ed.), *Critical Problems in the History of Science*, University of Wisconsin Press, Madison.